MASINA-EHITUSE TEHNO-LOOGIA ALUSED

A-29697

V. M. KOVAN, V. S. KORSAKOV, A. G. KOSSILOVA
M. A. KALININ, N. M. KAPUSTIN, M. D. SOLODOV

MASINAEHITUSE TEHNOLOOGIA ALUSED

KIRJASTUS „VALGUS" · TALLINN 1969

6Т5
М23

УДК 621 : 658.512(075.8)

Kaane kujundanud L. Kruusmaa

Originaali tiitel:

В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косилова,
М. А. Калинин, Н. М. Капустин, М. Д. Солодов
ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Под редакцией проф. д-ра техн. наук
В. С. Корсакова
Издание 2-е, дополненное и переработанное
Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов машиностроительных вузов
Издательство «Машиностроение»
Москва 1965

Vene keelest tõlkinud tehnikakandidaadid
H. Aarelaid, E. Liiver, I. Märtson ja
N. Štšeglov

Raamatus kirjeldatakse masinaehituse tehnoloogia põhimõisteid, selgitatakse masinate tüüpiliste sõlmede ja detailide tootmise tehnoloogiat ning antakse komplekssete tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel vajalike arvutuste metoodika. Vaadeldakse masinate, sõlmede ja detailide tehnoloogilisust ja formuleeritakse tehnoloogilised nõuded nende konstruktiivseks kujundamiseks.
Raamatus on kajastatud kodu- ja välismaise masinaehituse kogemusi ning süstematiseeritud ja üldistatud materjale, mis on saadud autorite jt. teaduslike töötajate uurimistööde tulemusena.
Raamat on õpikuks masinaehituse tehnoloogia üliõpilastele.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
73928

ARHIIVIKOGU

3—13—1
36—69

SAATEKS

Senini puudus eestikeelne masinaehituse tehnoloogia õpik kõrgematele koolidele. Prof. V. S. Korsakovi toimetusel ilmunud venekeelne õpik oli tõlkimiseks sobivaim, sest ta vastab kõige rohkem Tallinna Polütehnilises Instituudis loetavale masinaehituse tehnoloogia kursusele. Mõningatele erinevustele TPI tingimustest on juhitud tähelepanu joonealustes märkustes.

Tõlkimise käigus avastati rida ebatäpsusi, mis kõrvaldati autoritega kooskõlastatult.

Originaali täienduseks kirjutas dots., tehnikakandidaat E. Liiver lisapeatüki «Optimaalsete lõikerežiimide määramine majanduslike kriteeriumide põhjal» (lisa 1) ja dots., tehnikakandidaat N. Štšeglov lisapeatüki «Tehnoloogiline dokumentatsioon» (lisa 2).

Tõlkijad

TEISE VENEKEELSE TRÜKI EESSÕNA

Masinaehitusharude rohkus tingis arvukate juhendite väljaandmist autode ja traktorite, põllumajandusmasinate, metallilõikepinkide, mootorite jne. tootmise tehnoloogia kohta. Kõigis nendes juhendites käsitletakse 60...75% ulatuses masinaehituse tehnoloogiat ja ainult 25...40% ulatuses vastava masinaehitusharu tehnoloogiat. Üldisi küsimusi käsitleti harilikult antud masinaehitusharu ulatuses, mis piiras lugeja silmaringi ja välistas võimalusi selles tootmisharus kasutatava tootmistehnoloogia kriitiliseks vaatluseks ning teiste masinaehitusharude kogemuste kasutamiseks. See olukord tingis masinaehituse tehnoloogia aluste (selle teadusala põhimõisted) ja suhteliselt väiksemamahuliste juhendite (süstemaatilised materjalid teatava masinaehitusharu erialase tootmistehnoloogia kohta) eraldi väljaandmist.

Masinaehituse kiire areng nõuab tehnoloogilt teadmisi, mis võimaldavad tal orienteeruda ükskõik missuguse uue objekti tootmise tehnoloogia küsimustes. Neid teadmisi võime tagada ainult siis, kui valmistame ette laia profiiliga masinaehituse tehnolooge, kes on põhjalikult tundma õppinud masinaehituse tehnoloogia aluseid ja oskavad neid kasutada antud tootmistingimustes.

Õpiku teine trükk on tunduvalt ümber töötatud. Selle sisu vastab Moskva Baumani-nimelises Kõrgemas Tehnikakoolis (МВТУ им. Баумана) loetava kursuse «Masinaehituse tehnoloogia alused» programmile.

Eelnevate ja piirnevate distsipliinide dubleerimise vältimiseks ei käsitleta õpikus masinaehituse materjale, seadmeid, lõikeriistu ja rakiseid, töötlemismenetluste füüsikalist olemust ja teisi küsimusi. Neid puudutatakse ainult sel määral, kuivõrd need on vajalikud tehnoloogiliste protsesside koostamisel, täpsuse ja tootlikkuse arvutamisel jne.

Õpiku I...V peatükk on pühendatud masinaehituse tehnoloogia teoreetilistele alustele ja tehnoloogiliste protsesside projekteerimisele. VI peatükis on toodud masinaehituse eri harude ühiste tüüpdetailide ja masinate sõlmede tootmise tehnoloogiad. Peatüki ülesandeks on selgitada põhimõttelisi lahendusi ja anda tehnoloogi mõttele vajalikku suunitlust tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel. VII peatükis käsitletakse masinaehituse tehnoloogia arenguperspektiive.

Raamatu töötas ümber Moskva Baumani-nimelise Kõrgema Tehnikakooli mehaanilise töötlemise ja koostamise tehnoloogia kateedri õppejõudude kollektiiv.

SISSEJUHATUS

Masinaehitustööstus annab tooteid kõigile rahvamajandusharudele ja on selle põhilisi lülisid. Tehnika progress kõikides rahvamajandusharudes ja nende edaspidine kasv oleneb masinaehituse arengust ja selle tehnoloogilise kultuuri kasvust.

Masinate massilist tootmist võimaldasid suure tootlikkusega tootmismenetlused, masinate suuremad töökiirused aga tagati uute, kõrge kvaliteediga hõõrdepindade töötlemise tehnoloogiliste menetluste arenguga.

Tehnika progressi iseloomustab masinate konstruktsiooni ja nende tootmise tehnoloogia pidev täiustamine.

Olenevalt masinate ekspluatatsioonitingimustest ja ülesandest, nende konstruktiivsetest erinevustest ja neile esitatavatest tehnilistest tingimustest kasutatakse erinevaid tootmistehnoloogilisi menetlusi; olenevalt antud tootmisprogrammist on need isegi ühe ja sellesama masina jaoks erinevad. Näiteks keskmiste mõõtmetega astmevõlli tooriku saame vabasepistamisel, vormsepistamisel või teistel menetlustel. Võlli kaelte treimiseks võib valida tavalise treipingi, mitmeteratreimise poolautomaadi, hüdrokopeer-poolautomaadi või mitme töövõlliga vertikaalse poolautomaadi. Toodud variandid ei ammenda veel kaugeltki kõiki antud juhu jaoks võimalikke otstarbekaid tehnoloogilisi lahendusi.

Toodud näitest selgub, et masinaehituse tehnoloogil tuleb tootmisprotsesside kavandamisel lahendada küllaltki keerukaid ülesandeid. Nendeks ülesanneteks on toorikute tootmise menetluse valik, mehaanilise töötlemise variandi valik, seadmete, rakiste, tooriku mõõtmete ja töötlemisrežiimide määramine kõikide töötlemisjärkude kohta.

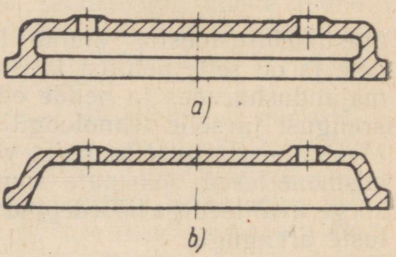
Masinaid võib koostada mitut moodi: liidetud detailide individuaalse sobitamisega, nende vastastikuse valikuga, liites neid täieliku vahetatavuse tingimustes jne.

Ka koostamisprotsessi kavandamine on seotud terve rea tehnoloogiliste ülesannete lahendamisega. Seda võib teha töömahukuse ja vajaliku tehnoloogilise varustatuse suhtes erinevate variantide järgi.

Nende ülesannete lahendamine — olenevalt valmistatavate too-

dete konstruktsioonist, nendele esitatavatest tehnilistest tingimustest ja antud väljalaskeprogrammist — ongi masinaehituse tehnoloogia põhiline ülesanne. Masinate ja nende detailide konstrueerimisel tuleb arvestada tootmise tehnoloogia tingimusi. Selgitame seda näidetega.

Joon. 1 on antud valatud karteri kaane kaks konstruktiivset varianti. Joonisel 1, *a* esitatud variandi puhul on vormi valmis-

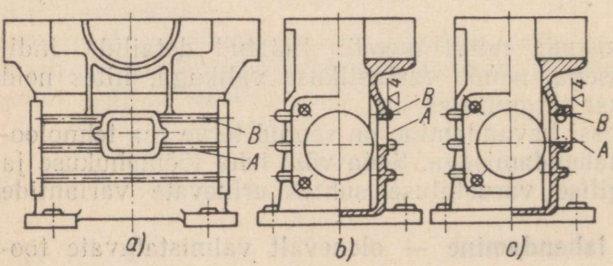


Joon. 1. Mootori karterikaane konstruktsiooni kaks varianti

tamisel vaja kasutada kärni. Joonisel 1, *b* näidatud variandi puhul kärni ei vajata ja vormimine lihtsustub.

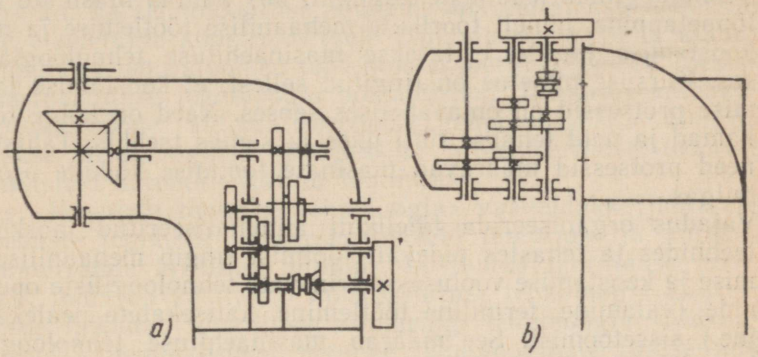
Joon. 2 on näidatud ääriku tasapinna freesimise visand reduktori kere vana (joon. 2, *a* ja *b*) ja muudetud (joon. 2, *c*) konstruktsiooni puhul. Vana konstruktsiooni puhul asub ääriku tasapind *A* jahutusribidest *B* madalamal, mistõttu seda tuleb töödelda sõrmfreesiga, suunates freesi piki ääriku perimeetrit. Muudetud konstruktsiooni puhul asub ääriku pind *A* jahutusribidest *B* kõrgemal. See võimaldab pinda *A* töödelda suure läbimõõduga otsfreesiga ja kasutada läbivat siiret, mis vähendab freesimise aega mitu korda.

Joon. 3 on kujutatud vertikaalfreespingi töövõlli ajami kaks konst-

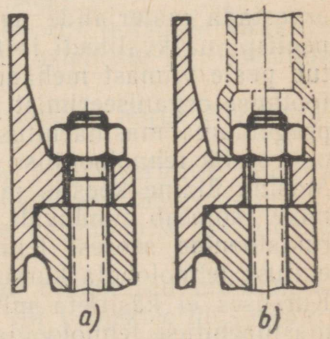


Joon. 2. Reduktori kere konstruktsiooni kaks varianti

ruktsiooni. Joon. 3, *a* näidatud konstruktsiooni korral on koostamine keerukas. Joon. 3, *b* kujutatud konstruktsioon võimaldab palju lihtsamat koostamist ning sealjuures võib ajami sõlme koostada ja katsetada eraldi tööpingi teistest elementidest.
Joon. 4 on esitatud ühe ja sellesama liite kaks konstruktsiooni. Joon. 4, *a* kujutatud konstruktsioonil (seina ja mutri vahelise väikese vahe puhul) võib mutri kinni keerata ainult käsimutrivõt-



Joon. 3. Vertikaalfreespingi töövõlli ajami konstruktsiooni kaks varianti



Joon. 4. Keermetatud liite kaks varianti

mega, aga joon. 4, *b* näidatud konstruktsiooni puhul võib seda teha elektrimutrikeerajaga, mis mehhaniseerib koostamist ja tõstab tunduvalt töö tootlikkust.
Toodud näidetest selgub, et masina elementide konstruktsioon mõjutab oluliselt nende tootmise tehnoloogiat.
Masinaehituse tehnoloogia õppimine aitab konstruktsioone kriitiliselt hinnata tehnoloogilisuse suhtes ja luua tooteid, mille valmistamisel ei teki raskusi.
Vaadeldud näited iseloomustavad masinate konstrueerimisel ja nende tootmisprotsesside projekteerimisel tekkivate küsimuste laia ulatust.

Tehnoloogiateaduse arengu kaasaegse taseme juures on väga raske masinate tootmise tehnoloogia kõigi alade põhjalikke teadmisi tervikuna ühe eriala raamidesse koondada. Seetõttu omavad masinaehituses iseseisvat tähendust niisugused erialad nagu valandite tootmise tehnoloogia, sepistatud toorikute tootmise tehnoloogia, termilise töötlemise tehnoloogia, keevitamise tehnoloogia jne.

Tehnoloogiliste teadmiste kogumit, mis kuulub masinate tootmise lõppetappide, nimelt toorikute mehaanilise töötlemise ja masinate koostamise juurde, esitatakse masinaehituse tehnoloogia kursuses. Kursuse nimetus on tingitud sellest, et koostamise ja töötlemise protsessid on omavahelises seoses. Need on kõige töömahukamad ja neid tehakse tihti ühes ja samas tsehhis. Tähtsuselt on need protsessid määravad masinate tootmise kõikide protsesside hulgas.

Vajadus organiseerida täielikult automatiseeritud jaoskondades, tsehhides ja tehastes pidevalt tootmist tingib mehaanilise töötlemise ja koostamise voolusesse erinevate tehnoloogiliste operatsioonide (valamine, termiline töötlemine, kaitsekatete pealekandmine jne.) sissetoomist. See määrab masinaehituse tehnoloogia aine komplekssuse ja tiheda sideme erinevate tehnoloogiatega.

Mehaanilisel töötlemisel kerkivate ülesannete lahendamisel tuleb arvestada materjalide omadusi, tooriku kuju ja mõõtmeid, tema pealispinna kvaliteeti ja termilist töötlemist, kui see on ette nähtud peale viimast mehaanilist töötlemist. Samuti tuleb arvestada tootmise organiseerimist ja ökonoomikat. Need küsimused peavad peegelduma masinaehituse tehnoloogias sellisel määral, kui see on vajalik tehnoloogilise ülesande igakülgseks selgitamiseks.

Masina üldine koostis ja tema detailide konstruktiivne kujundamine mõjutab tunduvalt tootmise tehnoloogiat; küsimusi konstruktsioonide seosest tehnoloogiaga käsitletakse samuti masinaehituse tehnoloogia kursuses.

Kursuses ei käsitleta mitte ainult tänapäeva olukorda, vaid ka masinaehituse tehnoloogia arenguperspektiive. Masinaehituse tehnoloogia arengusuunda määravaks ülesandeks on vajalikus koguses kõrgekvaliteediliste masinate saamine, mis on valmistatud väikseima omahinnaga, materjalide minimaalse kuluga, töö kõrge tootlikkusega ning mis on võimalikult kerged ja ohutud.

Niisuguste tehnoloogiliste protsesside väljatöötamine on seoses otstarbekalt valitud ja uute, täiustatud tehnoloogiliste seadmete ning mehhaniseerimise ja automatiseerimise vahendite loomisega, majanduslik-tehniliste põhjenduste väljatoomisega ja projekteerimistöödega.

Koos sellega püstitatakse ülesanne maksimaalselt lühendada tehnoloogiliste protsesside läbitöötamist ja juurutamist, mille tule-

musena kiirendatakse uue tehnika kasutamist rahvamajanduses.
Masinaehituse tehnoloogia on kompleksne distsipliin, mis hõlmab järgmisi kursusi: 1) masinaehituse tehnoloogia alused; 2) mehaanika-koostamistööde automatiseerimise tehnoloogilised alused; 3) masinate tootmiste tehnoloogia. Kursus «Masinaehituse tehnoloogia alused» on põhiline. Selles käsitletakse nii masinaehitustööstuse tehnoloogiliste protsesside koostamise teooriat ja arvutusmenetlusi kui ka tehnoloogilisi nõudeid, mis esitatakse masinate ja nende elementide konstruktiivsele kujundamisele. Selle kursusega kaasnevad laboratoorsed tööd, kus eksperimentaalselt tõestatakse masinaehituse tehnoloogia põhimõisteid. Kursuses «Mehaanika-koostamistööde automatiseerimise tehnoloogilised alused» vaadeldakse tehnoloogiliste protsesside projekteerimise teooriat ja põhimõisteid automatiseeritud tootmises.
Kursuses «Masinate tootmise tehnoloogia» vaadeldakse juhtivate masinatehaste tegelikke ja perspektiivseid materjale ja antakse nende materjalide kriitiline analüüs, kusjuures lähtutakse põhimõistetest, mida on käsitletud masinaehituse tehnoloogia alustes. See kursus laiendab üliõpilaste silmaringi tehnoloogia valdkonnas, süvendab nende oskust tegelike tehnoloogiliste protsesside kriitiliseks hindamiseks ning ühtlasi sisendab oskust tehnoloogiliste ülesannete loominguliseks lahendamiseks.
Masinaehituse tehnoloogiaga on otseselt seotud kursused «Rakiste konstrueerimise alused» ning «Masinaehitustehaste ja -tsehhide projekteerimise alused».
«Rakiste konstrueerimise aluste» kursus käsitleb kõrge efektiivsusega rakiste projekteerimist.
Kursus «Masinaehitustehaste ja -tsehhide projekteerimise alused» on masinaehituse tehnoloogia loogiliseks jätkuks. Selles lahendatakse tehnoloogilise töötlemise ruumilise paigutamise ülesandeid tööstushoonetes.
Pärast loengukursuste kuulamist lähevad üliõpilased diplomieelsele tööstuspraktikale masinatehastesse või projekteerimisorganisatsioonidesse vastavalt oma diplomiprojekti teema profiilile.
Masinaehituse tehnoloogias kasutatakse teoreetilisi ja rakendusteadusi; nende seadusi sünteesitakse vastavalt tehnoloogiliste ülesannete lahendamise vajadusele. Tööstuslike kogemuste süstematiseerimise ja üldistamisega ning erialaste tehnoloogiliste uurimistööde tulemusena luuakse ja laiendatakse masinaehituse tehnoloogia põhiseadusi, mis annavad tehnoloogiliste protsesside läbitöötamiseks teadusliku lähtealuse ja võimaldavad põhjendada tehnoloogilise menetluse valikut konkreetsetes tingimustes.
Toorikute valmistamise ja mehaanilise töötlemise omavaheline seos tingib vajaduse masinate ja nende elementide tootmise tehnoloogia projekteerimise komplekssе lahendamise järele. Näiteks on

paljudel juhtudel võimalik ühest tükist keerulise kujuga detaili asendada keeviskonstruktsiooniga, samuti nagu koostatud konstruktsiooni võib asendada ühest tükist detailiga, see aga muudab põhjalikult tooriku valmistamise tehnoloogiat ja masina selle elemendi töötlemist.

Tehnoloogiliste ülesannete kompleksne lahendamine on võimalik ainult masinaehituse materjalide töötlemismenetluste põhjaliku uurimise alusel. Sellepärast on ka materjalide tehnoloogia kui rakendusteadus olulise tähtsusega masinaehituse tehnoloogias.

Koos plastmasside tootmise arenguga laieneb nende kasutamine masinate detailide valmistamisel; see suurendab materjalide tehnoloogia osatähtsust masinaehituse tehnoloogia õppimisel.

Erinevalt materjalide tehnoloogiast ei vaadelda masinaehituse tehnoloogias tehnoloogilise menetluse olemust, vaid antakse menetluste suhteline iseloomustus, et osata neid valida ja otstarbekalt kasutada tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel vastavalt tootmise konkreetsetele tingimustele. Masinaehituse tehnoloogias käsitletakse tehnoloogiliste protsesside projekteerimise ja arvutamise menetlusi, mis ei kuulu materjalide tehnoloogia valdkonda.

Masinaehituse tehnoloogia aineks on vajaliku kvaliteediga masinate valmistamise õpetus tootmisprogrammis määratud koguses kõige väiksema elava ja asjastatud töö kulutamisega, s. o. kõige väiksema omahinnaga. Selle teadusliku distsipliini kujundamisel ja arendamisel on suuri teeneid nõukogude teadlastel, inseneridel ja tootmisnovaatoritel.

Masinaehituse tehnoloogia üks peamisi teaduslikke probleeme on tehnoloogiliste protsesside kulgemise seaduspärasuste uurimine ja nende parameetrite selgitamine, mis mõjuvad tootmise intensiivistamisele ja selle täpsuse tõstmisele kõige rohkem. *Tehnoloogiliste protsesside uurimisel on vaja toimuvate nähete ligikaudselt kirjelduselt täielikult üle minna rangelt matemaatilistele valemitele ja tänapäeva teaduse mõistetele ning meetoditele.* Täpsed tehnoloogilised arvutused on eriti tähtsad automatiseeritud tootmises, kus on vaja kindlalt tagada etteantud tootlikkus ja toodete kvaliteedi stabiilsus. Põhiliste seaduspärasuste tundmine võimaldab tehnoloogiliste protsesside läbitöötamisel kasutada kaasaegseid arvutusmasinaid.

Masinaehituse tehnoloogial kui rakendusteadusel on suur osatähtsus eriteadlaste ettevalmistamisel masinatööstusele, varustades neid teadmistega, mis on vajalikud mitte ainult igapäevases töös, vaid ka loomingulises tegevuses tootmise automatiseerimisel, uute progressiivsete tehnoloogiate projekteerimisel ja konstruktsioonide loomisel, mis võimaldavad nende tootmisel kasutada suure tootlikkusega tehnoloogilisi menetlusi.

TOOTE JA TEHNOLOOGILISE PROTSESSI MÕISTED MASINAEHITUSES

1. TOODE JA SELLE ELEMENDID

Enne kui alustada masinaehituse tehnoloogia aluste õppimist, on vaja määratleda toote mõiste.

Tooteks nimetatakse masinaehitustööstuse lõpliku staadiumi produkti. Tooteks võivad olla koostatud masin, sõlm ja isegi detail olenevalt sellest, mis on antud tööstuse tootmise objektiks. Näiteks autotehasele on tooteks auto, karburaatoritehasele karburaator, kolbide automaattehasele kolb.

Detailiks nimetatakse toote algelementi, mida iseloomustab lahtivõetavate ja lahtivõtmatute liidete puudumine.

Sõlmeks nimetatakse lahtivõetavalt või lahtivõtmatult liidetud koostatava toote osi. Lähtudes tehnoloogilisest vaatepunktist, iseloomustab sõlme võimalus koostada seda toote teistest elementidest eraldi. Olenevalt konstruktsioonist võib sõlm koosneda kas üksikutest detailidest või siis alasõlmedest ja detailidest.

Tehakse vahet esimese, teise ja kõrgemate astmete alasõlmede vahel. Esimese astme alasõlm läheb otseselt sõlme koostisse. See koosneb kas üksikutest detailidest või siis ühest või mitmest teise astme alasõlmest ja detailidest. Teise astme alasõlm läheb esimese astme alasõlme koostisse. See jaguneb detailideks või kolmanda astme alasõlmedeks (alasõlmeks) ja detailideks jne. Kõige kõrgema astme alasõlm jaguneb ainult detailideks.

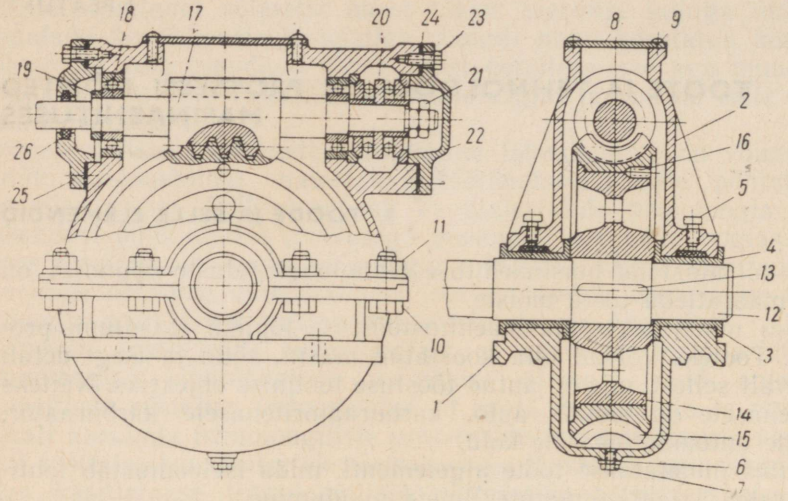
Sõlmi ja alasõlmi nimetatakse tihti gruppideks ja alagruppideks. Vaadeldud toode jaotati koostisosadeks tehnoloogiliste tunnuste alusel.

On olemas teine jaotus: toode jaotatakse koostisosadeks (sõlmedeks) funktsionaalsete tunnuste järgi. Niisuguseks sõlmeks võib lugeda näiteks mootori jaotusmehhanismi, tema õlitus- või jahutussüsteemi. Neid sõlmi ei saa tavaliselt koostada eraldi teistest tooteelementidest.

Toote jaotamise koostisosadeks ja jooniste ning teiste tehniliste dokumentide vormistamise masinaehituses määrab ГОСТ 5290-60.

Tänapäeva masinaehituses jaotatakse koostamine üld- ja sõlmkoostamiseks. Üldkoostamise objektiks on masin, sõlmkoostamise objektiks aga sõlmed ja alasõlmed.

Üld- ja sõlmkoostamise olemust võib näitlikult esitada tehnoloo-



Joon. 5. Tigureduktor

gilistel skeemidel. Need skeemid näitavad toote ja sõlmede struktuuri ja komplekteerimise järjekorda.

Näitena on joon. 5 toodud tigureduktori koostamisjoonis ning joon. 6 reduktori üld- (joon. 6, *a*) ja sõlm- (joon. 6, *b* . . . *d*) koostamise tehnoloogilised skeemid. Skeemidel on iga tooteelement tähistatud kolme ossa jagatud ristkülikuga. Ristküliku ülemises osas on elemendi nimetus, vasakpoolses alumises osas selle indeks, parempoolses alumises osas aga sellesse liitesse minevate elementide arv.

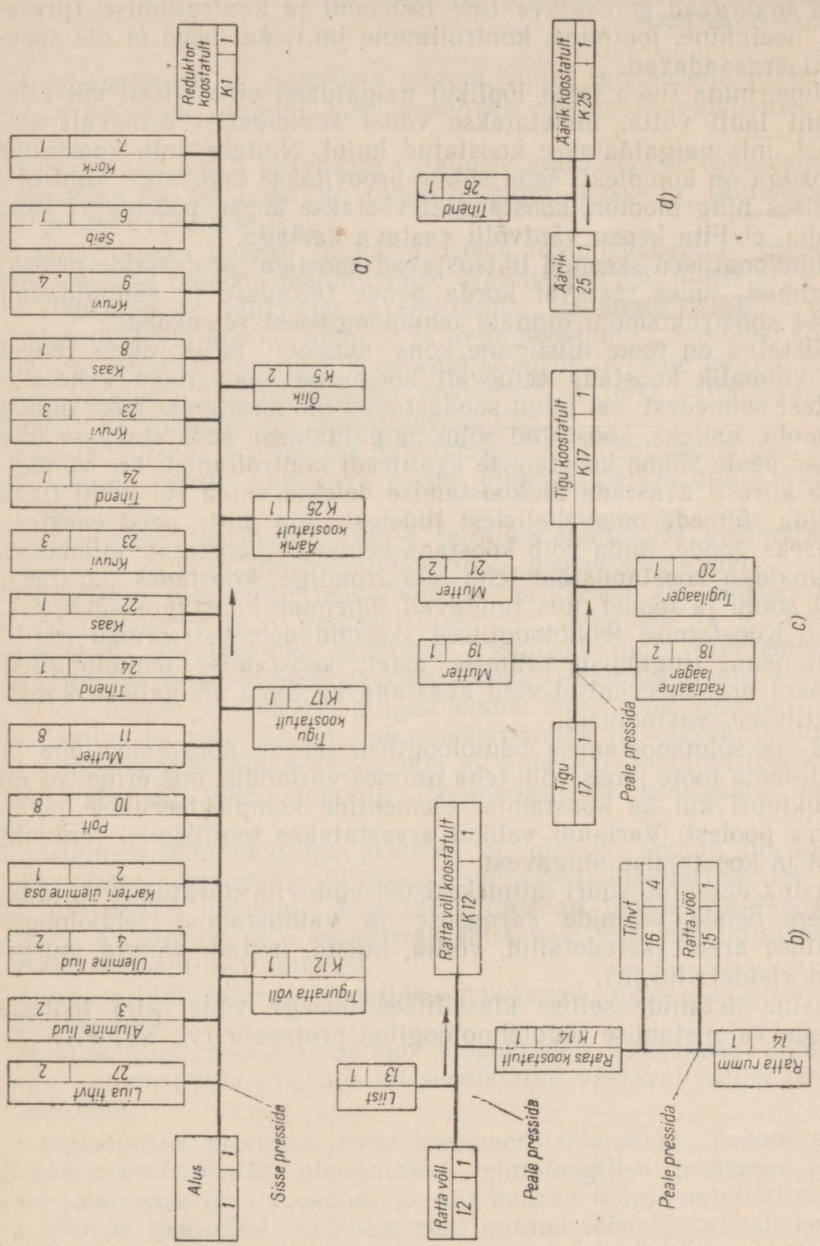
Masina elementide indeksiteks kasutatakse vastavaid numbreid, mis on detailidele ja sõlmedele antud joonistel ja spetsifikatsioonides; sõlme indeksi ette pannakse täht *k* (koostatud).

Algelementi (detaili või sõlme), millest koostamist alustatakse, nimetatakse lähteks (lähteelemendiks).

Masina (sõlme) komplekteerimise protsessi tähistatakse sirgjoonega. See algab lähteelemendist ja lõpeb koostatud masina või sõlmega. Joone ülemisele küljele suunaga lähteelemendist kuni koostatud objektini paigutatakse tinglikult koostamise järjekorras kõik sellesse minevad detailid, alumisele küljele aga kõik sõlmed, mis otseselt lähevad masinasse.

Sõlmede koostamise tehnoloogilistel skeemidel jagunevad need sõlmed alasõlmedeks ja detailideks.

Koostamise tehnoloogilised skeemid varustatakse pealkirjadega,



Joon. 6. Tigureduktori üld- ja sõlmkoostamise tehnoloogilised skeemid

mis määravad koostatava liite iseloomu ja kontrollimise (pressist, neetimine, jootmine, kontrollimine jm.), kui need ei ole skeemilt arusaadavad.

Sõlme, mida tuleb tema lõplikul paigaldamisel osaliselt või täielikult lahti võtta, nimetatakse vahel *komplektiks* erinevalt sõlmest, mis paigaldatakse koostatud kujul. Näiteks kolb koostatult kepsuga on komplekt; seda sõlme proovitakse koostatult kontrollrakises ning mootori koostamisel võetakse kepsu põlvlaagri kaas maha, et liita kepsu väntvõlli vastava kaelaga.

Tehnoloogilised skeemid lihtsustavad koostamisprotsesside projekteerimist, tuues teatavat korda nende täitmisse ja võimaldavad toote konstruktsiooni hinnata tehnoloogilisest seisukohast.

Eelistatud on toote niisugune konstruktsioon, mille juures toodet on võimalik koostada eelnevalt koostatud vastastikku vahetatavatest sõlmedest; sel juhul soodustavad üldkoostamist kaks olulist asjaolu. Esiteks, koostatud sõlm paigaldatakse koostatavasse tootesse peale sõlme koostamise kvaliteedi kontrollimist; see võimaldab kiiresti avastada üldkoostamise defekte, mida sel juhul tuleb otsida sõlmede omavahelistest liidetest, aga mitte neist enestest. Teiseks, toode, mida võib koostada eelnevalt koostatud sõlmedest, võimaldab koostamistöid teha laia frondiga, koostades paralleelselt sõlmi ja toodet, mis tunduvalt lühendab koostamistsükli kestust. Koostamise tehnoloogilised skeemid demonstreerivad näitlikult nende tingimuste täitmise astet; koostamise tehnoloogilise skeemi projekteerimisel võib avastada ka toote võimalikke konstruktiivseid vastuolusid.

Üld- ja sõlmkoostamise tehnoloogilise skeemi koostamist ühe ja sellesama toote jaoks võib teha mitmes variandis, mis erinevad nii struktuuri kui ka koostamise elementide komplekteerimise järjekorra poolest. Variandi valikul arvestatakse tootlikkust, rentaablust ja koostamise mugavust.

Masina detailide suurt mitmekesisust võib viia piiratud arvu klassideni nende vormide sarnasuse ja valmistamise tehnoloogia ühtluse arvel (keredetailid, võllid, hülsid, kettad, kangid, nurgikud, ristdetailid jt.).

Masina detailide sellise klassifitseerimisega võib välja töötada nende valmistamise tüüptehnoloogilisi protsesse (vt. V ptk.).

2. TOOTMIS- JA TEHNOLOOGILINE PROTSESS MASINAEHITUSES

Tootmisprotsess on tegevuste kogum, mille tulemusena materjalid ja pooltooted muudetakse ülesandele vastavaks valmistoodanguks.

Ühiskonna pidevalt kasvavate vajaduste maksimaalse rahuldamise vahendiks on sotsialistliku tootmise pidev kasv ja täiustamine kõrgetasemelise tehnikaga.

Masinaehituses haarab tootmisprotsess tootmisvahendite ettevalmistamist ja töökoha teenindamise organiseerimist, materjalide ja poolfabrikaatide hankimist ja säilitamist, masinate detailide valmistamise kõiki alasid, sõlmede ja toote koostamist, tootmise kõigi astmete tehnilist kontrolli, koostatud sõlmede ja toote lahtivõtmist (kui vajalik), valmistoodangu pakkimist ja teisi väljalastavate toodete valmistamisega seosesolevaid töid.

Tehnoloogiliseks protsessiks nimetatakse tootmisprotsessi osa, mis on otseselt seoses toodetava eseme olukorra järkjärgulise muutmisega.

Tehakse vahet toorikute tootmise, termilise töötlemise, mehaanilise töötlemise ja koostamise tehnoloogiliste protsesside vahel.

Mehaanilise töötlemise tehnoloogilise protsessi all mõistetakse tooriku olukorra (s. o. geomeetrilise kuju, mõõtmete ja pinnakihi kvaliteedi) järkjärgulist muutmist valmisdetailini. Töötlemiseks paigaldatakse toorik pinki ja kinnitatakse. Peale töötlemist vabastatakse toorik ja võetakse pingist maha. Need tööd (tooriku paigaldamine ja mahavõtmine, pingi käivitamine ja seiskamine jne.) ei muuda tooriku olukorda, on aga nii pidevalt seostatud töötlemisega, et neid pole võimalik tehnoloogilisest protsessist eraldada.

Koostamise tehnoloogiline protsess on otseselt seotud nii toote elementide järkjärgulise liitmisega sõlmeks (sõlmkoostamine) kui ka sõlmede ja üksikute detailide liitmisega tooteks (üldkoostamine). Ka siin on vaja tervet rida abistavaid töid, mis on otseselt seotud elementide liitmisega.

Termilise töötlemise protsessides muutuvad materjali struktuur ja omadused.

Tehnoloogiline protsess toimub töökohtadel. *Töökohaks* nimetatakse tootmispinna osa, mis on seadistatud vastavalt sellel tehtavale tööle.

Tehnoloogiline protsess jaotatakse operatsioonideks. *Tehnoloogiliseks operatsiooniks* nimetatakse tehnoloogilise protsessi osa, mis täidetakse ühel töökohal ja mis haarab kõigi tootmisriistade ja tööliste tööd ühel või üheaegselt mitmel töödeldaval või koostataval esemel.

Näiteks haarab pingil toimuv operatsioon töölise kõiki toiminguid pingi juhtimiseks ja pingi sõlmede automaatseid liikumisi, mis toimuvad tooriku pindade töötlemisel kuni tooriku pingist mahavõtmiseni ja üleminekuni teise tooriku töötlemisele. Ühe tooriku asemel võib samaaegseks töötlemiseks paigaldada ka mitu toorikut (tööpingi partii või paigaldamise partii). Sisuliselt muutub operatsioon laialdaselt: alates töödest harilikus tootmises ühel pingil (koostamisseadmel) kuni töödeni automaatliinidel automatiseeritud tootmises.

Tehnoloogilise protsessi projekteerimise ülesandeks on operatsioonide sisu ja täitmise järjekorra määramine (vt. V ptk.). Sel on tootmises suur osatähtsus, kuna tehnoloogilise protsessi tootlikkust arvestatakse, kontrollitakse ja planeeritakse tsehhides operatsioonide alusel. Organisatsioonilises mõttes on operatsioon tehnoloogilise protsessi põhiline ja lahutamatu osa. Operatsioonide alusel määratakse protsesside töömahukus, tootmistööliste arv ja materiaal-tehniline varustus (tootmisriistad, rakised, tööriistad).

Peale tehnoloogiliste operatsioonide on veel abioperatsioonid. Need on transport, kontroll, markeerimine ja teised tööd. Teostatava töömahu alusel võib tehnoloogiline operatsioon koosneda siiretest, läbimitest ja töövõtetest.

Siire on operatsiooni osa, kus ei muudeta töödeldavat pinda, lõikeriista (või üheaegselt kasutatavaid mitut lõikeriista) ega pingi töörežiimi. Koostamisel on siirdele iseloomulik, et ei vahetata liitekohti ega kasutatavat tööriista.

Läbim on siirde osa, mille kestel võetakse maha materjali üks kiht, kusjuures mitme läbimi korral ei muudeta pingi töörežiimi. Siire jaguneb töövõteteks.

Töövõte on üksikute liigutuste lõplik kogum operatsiooni täitmise protsessis. Võlli (või mingi teise detaili) ava puurimise tööpingi operatsioon koosneb järgmistest töövõtetest: võtta võll ja paigaldada rakisesse; kinnitada võll; lülitada sisse tööpink; suunata puur võllini; lülitada sisse ettenihe; lülitada välja ettenihe; viia töövõll algasendisse; seisata tööpink; vabastada võll; võtta võll ja asetada riiulile.

Töödeldava tooriku (koostatava sõlme või toote) asendi muutmisel võib operatsioon koosneda mitmest paigaldusest ja asendist.

Paigalduseks nimetatakse operatsiooni osa, mille vältel ei muudeta töödeldava tooriku (koostatava sõlme) kinnitust. Näiteks on võlli mõlema otsa üheaegne tsentreerimine kahepoolsel tsentreerimispingil üks operatsioon, mida tehakse ühe paigaldusega. Sama võlli otste järjestikune tsentreerimine ühepoolsel tsentreerimispin-

gil on samuti üks operatsioon, kuid tehtud juba kahe paigaldusega.
Rakises asuv töödeldav toorik või koostatav sõlm võib oma asendit seadme töötlevate elementide suhtes muuta pöördeseadmega. Sel juhul on need eri asendid.
Asendiks nimetatakse muutmata kinnitusega eseme iga asendit seadme suhtes, millel tööd tehakse. Näiteks toorik, mida töödeldakse mitme töövõlliga treimisautomaadil, võtab uue asendi töövõllide trumli igal pöördumisel.

3. TEHNILISELT PÕHJENDATUD AJANORM

Operatsioon on tehnoloogilise protsessi põhiline arvutatav element. Operatsiooni täitmiseks kuluv aeg ja omahind on kriteeriumiks, mis iseloomustab tema otstarbekust antud tootmisprogrammi korral.
Tehniliselt põhjendatud ajanormiks nimetatakse aega, mida vajatakse tehnoloogilise operatsiooni tegemiseks antud käitise kõige soodsamates ettemääratud organisatsioonilis-tehnilistes tingimustes. Tehniliselt põhjendatud ajanormid määratakse kindlaks vastavalt tootmisriistade, tööriistade ja teiste tootmisvahendite ekspluatatsiooni võimalustele tingimusel, et kasutatakse töömenetlusi, mis vastavad kaasaegse tootmistehnika tasemele, ja arvestatakse tootmisnovaatorite töökogemusi. Tehniliste ajanormide alusel määratakse hinnad, tootmisriistade tootlikkus, tehakse tootmise kalenderplaanid ja selgitatakse võimalust mitme pingi teenindamise organiseerimiseks.
Tehniliseks tootlusnormiks nimetatakse ajanormi pöördväärtust; seda väljendatakse toodete arvuga ajaühiku kohta.
Eristatakse kolme normimismenetlust: tehnilise ajanormi arvutamine normatiivide alusel; normi arvutamine vaatlustega kindlakstehtud tööajakulu põhjal ning koondatud tüüpnormide võrdlemine ja arvutamine.
Esimesel menetlusel määratakse normitava operatsiooni kestus elementide kaupa arvutamisel, kusjuures kasutatakse normatiive, milles on antud üksikute tööelementide täitmise kestuse arvutatud suurused. Ajanorm määratakse töölise tegevuse ja masinaseadme ekspluatatsiooniomaduste parima kasutamise tingimuste ning järjekorra analüüsi tulemusena.
Teisel menetlusel määratakse ajanorm tööaja kulu uurimisel vahetult tootmistingimustes tehtud vaatluste alusel. See menetlus on eriti tähtis eesrindlike töövõtete uurimisel ja üldistamisel ning vajalike normatiivide väljatöötamisel tehniliselt põhjendatud normide arvutamiseks.

Kolmanda menetluse puhul määratakse ajanormid ligikaudsemalt koondatud tüüpnormide alusel, mis töötatakse välja üksikute tööliikide ja -protsesside tüüpiliste operatsioonide kohta. Seda normimismenetlust kasutatakse toodangu valmistamisel üksikult ja väikeseerialiselt.

Tehniliselt põhjendatud ajanorm ja tehniline tootlusnorm määratakse igale operatsioonile.

Automatiseerimata tootmise jaoks tüki ajanorm

$$t_t = t_o + t_a + t_{org} + t_{tehn} + t_v, \quad (1)$$

kus t_o — põhi- (tehnoloogiline) aeg;
t_a — abiaeg;
t_{org} — organisatsioonilise teenindamise aeg;
t_{tehn} — tehnilise teenindamise aeg;
t_v — töö vaheaeg.

Põhi- (tehnoloogiline) aeg arvestab tootmisprodukti olukorra muutmist mehaanilise töötlemise või koostamise protsessides. Tööpingis töötlemisel määratakse põhiaeg iga tehnoloogilise siirde kohta valemiga

$$t_o = \frac{Li}{s_m}, \quad (2)$$

kus L — arvutatav töötlemispikkus mm; see saadakse, kui töötlemise algpikkusele lisada lõikeriista sisse- ja ülejooksu teekonnad;
i — läbimite arv selle siirde puhul;
s_m — lõikeriista ettenihe mm/min.

Lukksepatöödel ja koostamisel normitakse t_o vastavate ajanormatiividega.

Abiaeg haarab töid, mis kaasnevad põhiaja täitmisega. See sisaldab paigaldamise, töödeldud tooriku või koostatava sõlme kinnitamise ja mahavõtmise, seadme mehhanismide käsitsemise, töödeldava tooriku mõõtmise jm. aegu. Abiaeg leitakse eelloetletud tegevusteks kuluvate ja abiaja normatiivides kindlaksmääratud ajaelementide liitmisel. Põhi- ja abiaja summat nimetatakse operatiivajaks (t_{op}). Normitakse t_o-ga mittekattuvat abiaega t_a.

Töökoha organisatsioonilise teenindamise aeg arvestab ajakulu töökoha ettevalmistamiseks tööpäeva algul, töökoha koristamiseks vahetuse lõpul, tööpingi õlitamiseks, puhastamiseks ja teisteks analoogilisteks töödeks vahetuse kestel. See määratakse normatiivide alusel protsentides operatiivajast (0,6 ... 7,1% tööpinkides töötlemisel ja 2 ... 8% lukksepa-koostamistöödel).

Tehnilise teenindamise aeg kulutatakse nürinenud lõikeriista vahetamiseks, seadme järelhäälestamiseks, lõikeriista paigaldamiseks

ja reguleerimiseks. Selle suurus võetakse normatiivide alusel protsentides põhiajast või arvutatakse (mis on täpsem) valemiga

$$t_{\text{tehn}} = \frac{t_h k_h + t_k k_k + T_v}{k}, \qquad (3)$$

kus t_h — igaks järelhäälestamiseks kulutatud aeg;
k_h — järelhäälestuste arv lõikeriista töötamisel kuni selle vahetamiseni;
t_k — aeg lõikeriista igaks paigaldamiseks;
k_k — paigaldamiste arv lõikeriista töötamisel kuni selle vahetamiseni;
T_v — aeg nürinenud lõikeriista igaks vahetamiseks;
k — toorikute arv, mis on töödeldud lõikeriista töötamisel kuni selle vahetamiseni.

Koorival töötlemisel võib lõikeriist töötada kuni vahetamiseni järelhäälestuseta ja paigaldamiseta; sel juhul

$$t_{\text{tehn}} = \frac{T_v}{k}.$$

Aeg, mis kulutatakse järelhäälestamiseks, lõikeriista paigaldamiseks ja vahetamiseks, määratakse normatiivsetel andmetel. Toorikute arv, mida töödeldakse lõikeriistaga selle vahetamiseni:

$$k = \frac{T}{t_0},$$

kus T — lõikeriista püsivusaeg, minutites, s. o. töötamise kestus kuni nürinemiseni.

Nii saame:

$$t_{\text{tehn}} = \frac{T_v t_0}{T}. \qquad (3')$$

Lukksepa-koostamistöödel on tehnilise teenindamise aeg kas võrdne nulliga (haamriga, mutrivõtmega töötamisel) või on sel mingi suurus, nagu ligikaabitsemisel (kaabitsa paigaldamine) ja neetimisel (pea kujundaja vahetamine).

Töö vaheajad määratakse töölise puhkuseks ja loomulikeks tarvidusteks. Need võetakse normatiivide alusel protsentides operatiivajast.

Toorikute töötlemisel partiide kaupa määratakse *ettevalmistamis-lõpetamisaeg* $T_{e.l}$, mida tööline kulutab joonisega tutvumiseks, seadme, rakiste ja tööriistade ettevalmistamiseks ja seadistamiseks, rakiste ja tööriistade võtmiseks ning pärast töö lõpetamist tagasiandmiseks ja tehtud töö üleandmiseks. Suurseeriatootmisel perioodiliselt korduvatel operatsioonidel, samuti ümberseadistata-

vatel rühmiti töötlevatel automaatliinidel kulutatakse ettevalmistamis-lõpetamisaeg põhiliselt tootmisriistade seadistamiseks. Ettevalmistamis-lõpetamisaeg oleneb tootmisriistast, millel tööd tehakse, tehtava töö iseloomust ja seadistuse keerukuse astmest ega olene partii suurusest.

Antud partii ajanorm

$$T_p = T_{e.l} + nt_t, \qquad (4)$$

kus n — toorikute arv partiis.

Automaatseadmete kasutamisel määratakse tükiaja norm valemiga (1) ilma liikmeteta t_{org} ja t_v. Automatiseerimisel määratakse ajanorm toodanguühiku valmistamiseks ja norm, mis on antud töölisele (või tööliste brigaadile) ning väljendub teenindamisühikutes (tööliste arvus).

Tööaja uurimisel vaatlustega eristatakse kahte põhilist menetlust: ajavõtmist (kronometraaži) ja tööpäeva jälgimist (päeva pildistamist).

Ajavõtmisega (kronometraažiga) uuritakse tsükliliselt korduvate käsi- ja masin-käsioperatsioonide elementide täitmiseks kuluvat aega, et määrata nende normaalset kestust ja selle alusel välja töötada normatiive tehniliste normide arvutamiseks.

Tööpäeva jälgimiseks (päeva pildistamiseks) nimetatakse vaatlusi, kus ühe või mitme vahetuse kestel mõõdetakse järjekorras kõiki tööaja kulutusi.

Tööpäeva jälgimise põhiliseks ülesandeks on ajakadude määramine ning töökoha teenindamiseks ja vaheaegadeks kuluva aja määramine.

Automatiseerimisel võimaldab see menetlus avastada tootlikkuse reserve, ratsionaalselt koormata teenindavaid töölisi ja täiuslikumalt kasutada tootmisriistade võimalusi.

Töömahukuse all mõistetakse töö hulka inimtundides, mis kulutatakse tooteühiku (detail, sõlm, masin) valmistamise tehnoloogiliseks protsessiks.

Tööpingi töömahukuse all mõistetakse tehnoloogilise töövahendi (tööpingi) tööaega pingitundides, mis kulub ühe detaili valmistamiseks.

Automatiseeritud tootmise tingimustes on töömahukuses osa tööpingi töömahukusest. Tööpingi töömahukuse põhjal arvutatakse tööpinkide arv, töömahukuse alusel — tööliste arv.

4. MASINAEHITUSTOOTMISE TÜÜBID JA TOOTMISVIISID

Masinaehituses eristatakse kolme tüüpi tootmist — mass-, seeria- ja üksiktootmine (individuaaltootmine) — ning kahte tootmisviisi: vooluline ja mittevooluline.

Masstootmises valmistatakse tooteid vahetpidamata suhteliselt suurearvuliselt küllaldaselt pika aja (harilikult mitme aasta) kestel. Masstootmist ei iseloomusta aga väljalastavate masinate arv, vaid enamikule töökohtadele kinnistatud ainult ühe alaliselt korduva operatsiooni täitmine. Masstootmise toodanguks on kindlakskujunenud (harilikult standardsed) tüüpi tooted, mida kasutatakse hulgaliselt. Selliseks toodanguks on autod, traktorid, jalgrattad, elektrimootorid, õmblusmasinad ja teised tooted.

Seeriatootmises valmistatakse detailide partiisid ja toodete seeriaid, mis regulaarselt korduvad kindla ajavahemiku järel. Seeriatootmine on laia nomenklatuuriga tootmine, kus üksikutel töökohtadel tehtavad erinevad operatsioonid korduvad perioodiliselt. Seeriatootmise toodanguks on kindlaksmääratud tüüpi masinad, mida lastakse välja kas suurema- või väiksemaarvuliselt (metallilõikepingid, statsionaarsed sisepõlemismootorid, pumbad, kompressorid, toiduainete tööstuse seadmed jms.).

Üksiktootmises väljastatakse laia nomenklatuuriga tooteid suhteliselt vähe ja tihti üksikult, sellepärast peab see olema mitmesuguste ülesannete täitmiseks universaalne ja väga paindlik. Toodete valmistamine kas üldse ei kordu või kordub mitteperioodiliselt. Üksiktootmist iseloomustab mitmesuguste perioodiliselt kordumatute operatsioonide tegemine töökohtadel. Üksiktootmise toodanguks on masinad, mis ei leia laialdast kasutamist ja mis tavaliselt valmistatakse individuaaltellimuste alusel, kus nõutakse eritingimuste täitmist. Üksiktootmine on omane raskemasinaehitusele, mille toodanguks on suured hüdroturbiinid, unikaalsed metallilõikepingid, valtspingid, metallurgilised tootmisriistad jms.

Väljalaskeprogramm masstootmises tingib võimalikult kitsast töökohtade spetsialiseerimist, kusjuures igale neist kinnistatakse ainult üks operatsioon ja tootmisriistad asetatakse vooluliinile tehnoloogilise protsessi järjekorras. Igal liinil töödeldakse eri detaile. Kui kõigil töökohtadel on operatsiooni kestus võrdne või kordne ja vastab antud tootlikkusele, siis tehakse tööd liinil pideva voolusena ja ettemääratud rütmiga.

Rütmi all mõistetakse ajavahemikku, mille vältel toimub üks või teine perioodiliselt korduv nähe. Pideval vooltootmisel võrdub rütm ajavahemikuga, mille järel lastakse välja üks tooteühik.

Tsehhi rütm antud režiimiga töö puhul oleneb ainult antud väljalaskest ja määratakse suhtega

$$t = \frac{F}{N} \frac{\text{min}}{\text{tk.}}, \qquad (5)$$

kus F — tööajafond minutites (kas aastas, vahetuses või mõne teise ajavahemiku kestel);
N — väljalase arvuliselt sama aja jooksul.

Rütm mõjutab oluliselt tehnoloogilise protsessi koostist, kuna vajadus viia iga operatsiooni tükiaeg suuruseni, mis on võrdne või kordne rütmiga, nõuab tehnoloogilise protsessi vastavat jaotamist ja mõningatel juhtudel tööpinkide dubleerimist vajaliku tootlikkuse saavutamiseks.

Töörütmi rikkumine ükskõik millisel töökohal häirib vooluliini normaalset tööd. Ühelgi vooluliini töökohal ei tohi tootlikkus olla väiksem etteantust, kuna siis koguneb sellele töökohale pidevalt suurenev töötlemata toorikute (sõlmede) hulk. Olenevalt eelnevast töökohast hakkab järgmine, suurema tootlikkusega töökoht töötama katkestustega ja kogu vooluliini väljalase jääb etteantust maha.

Kui tootlikkus töökohal on etteantust suurem, siis sõltuvalt eelnevast töökohast ei koormata teda täielikult, vooluliini tootlikkus aga ei muutu ja vastab arvutatud väljalaskele.

Mõnikord lastakse toodang töökohtadest läbi perioodiliselt (partiidena). Sel juhul rikutakse vooluse pidevust ja saadakse sünkroniseerimata protsess. Seda tootmist nimetatakse otsevooltootmiseks.

Eeltoodust nähtub, et masstootmine on oma olemuselt pidev vooltootmine. Seda nimetatakse tihti massvooltootmiseks.

Vooluse rütm on põhiline arvutatav suurus, mis organiseerib kõik vooluliini töökohad tootmise üheks mehhanismiks.

Kaasajal projekteeritakse vooluliinid komplekssetena. Peale mehaanilise töötlemise operatsioonide tehakse neil veel keevitamise, termilise töötlemise, venituse, stantsimise, koostamise, värvimise, galvaanilise katmise, pesemise ja kontrollimise operatsioone. Massvooltootmise kõrgeima vormi tagab automaatliinide kasutamine.

Tootmisprotsessis on ka juhuslikkus vältimatu, mis tingib üksikutes töökohtades lühiajalisi tööseisakuid. Kogu vooluliini töö katkestuste vältimiseks antakse töökohtadele operatsioonidevahelised varud, mis kindlustavad kogu vooluliini pideva töö.

Vooltootmisel nihutatakse toorikuid, koostatavaid sõlmi ja tooteid ühelt töökohalt teisele vastavalt tehnoloogilise protsessi operatsioonide järjekorrale kas käsitsi (vankrikesel, rullteel, rennipidi

jne.) või mehhaniseeritud transpordiseadmel (pideva või perioodilise toimega konveieril).

Kõigi operatsioonide tükiaegade absoluutset võrdsust ei õnnestu saavutada ja terve rea operatsioonide tükiaja hälve vooluliini antud töörütmist loob tehnoloogiliselt vältimatu ajakao.

Tööliste alakoormatust välditakse mitme pingi teenindamisega kahe-kolme (või enama) tootmisriista juures nii, et summaarne aeg nende teenindamiseks ei ületaks vooluse rütmi.

Masstootmine on majanduslikult otstarbekas toodete küllaldaselt suure väljalaske puhul. Väikese programmi puhul võib vooluliini tootmisriistade koormatus osutuda väga madalaks. Siis organiseeritakse seeriatootmine.

Seeriatootmise tehnoloogilised iseärasused muutuvad olenevalt töömahukusest, mistõttu eristatakse väikeseeria- ja suurseeriatootmist.

Tehnoloogilistelt iseärasustelt erineb väikeseeriatootmine õige vähe üksiktootmisest. Nii väikeseeria- kui ka üksiktootmisel kasutatakse peamiselt universaalseid tootmisriistu (kusjuures neid paigutatakse tsehhides pingitüüpide järgi) ning normaalseid töö- ja universaalseid mõõteriistu. Koos universaalsete tööriistadega kasutatakse suurseeriatootmisel küllaltki laialdaselt eriotstarbelisi tootmisriistu ning eri- ja agregaatpinke. Tootmisriistu ei paigutata tsehhides mitte pinkide tüüpide järgi, vaid valmistatavate esemete järgi ja paljudel juhtudel vastavalt tehnoloogilisele protsessile. Normaalsete kõrval kasutatakse eritööriistu, piirkaliibreid ja erikontrollrakiseid.

Partii suurus, milleks on üheaegselt tootmisse antud toorikute arv, määratakse seeriatootmisel kindlaks olenevalt tervest reast tegu-ritest, osaliselt mõjutavad partii suurust toodete aastane väljalase, toodete väljalaske kalendrilised tähtajad, tootmisprotsessi kestus ja tehnoloogiliste tootmisriistade seadistamine.

Töötlemise kestel hoitakse detaile tööpingi juures, siis transporditakse partii järgmisele töökohale. Enne erinevaid töötlemisviise ning enne sõlm- ja üldkoostamist hoitakse detaile vaheladudes.

Kaasajal kasutatakse seeriatootmisel laialdaselt vooluviisilist tööd. Vooluviisiline töö tagab: 1) tootmistsükli tunduva lühendamise (kümneid kordi); 2) operatsioonidevaheliste tagavarade ja lõpetamata toodangu tunduva vähendamise; 3) toodete töömahukuse ja omahinna järsu alanemise suure tootlikkusega tootmisriistade kasutamise tõttu; 4) detailide liikumise planeerimise ja tootmise juhtimise lihtsustamise; 5) tootmisprotsesside komplekssе automatiseerimise võimaluse. Vooluviisilisel töötlemisel väheneb tavaliselt käibevahendite hulk ja kiireneb nende käive. Töötlemis-

tsükli kestus n detailist koosneva partii kohta mittevooluviisilisel tootmisel ja nende järkjärgulisel edasiandmisel

$$T_{ts} = \sum_{1}^{i} t_t n + T_h k + T_t(2k + 1);$$

siin $\sum_{1}^{i} t_t n$ — antud detaili kogu mehaanilise töötlemise protsessi tükiaegade summa;

T_h — detailide ühe partii hoidmise aeg vahelaos;

k — detailide vaheladudesse viimiste arv (kõige halvemal juhul on see võrdne operatsioonide arvuga i töötlemisprotsessis);

T_t — ühe partii detailide transportimise aeg tööpingi juurest laoni (ja tagasi); detailide transportimiste arv $(2k + 1)$ arvestab ka ühte kohalevedu koostamiseks.

Ühe detaili ($n = 1$) töötlemistsükli kestus

$$T_{ts} = \sum_{1}^{i} t_t + T_h k + T_t(2k + 1).$$

Ühe detaili töötlemistsükli kestus voolumeetodil on võrdne rütmi ja operatsioonide (töökohtade) arvu korrutisega:

$T_{ts} = ti.$

Mittevooltootmisel vajalik detailide varu oleneb tsükli kestusest:

$Q = T_{ts} n,$

kus n — detailide keskmine väljalase päevas;

T_{ts} — tsükli kestus päevades.

Detailide minimaalne tagavara vooluliinil

$$Q = \sum_{1}^{i} m + \frac{1}{t} \sum_{1}^{i} t_{tehn} + \frac{2T}{t},$$

kus m — üheaegselt töödeldavate detailide arv antud töökohal;

t — liini töörütm;

t_{tehn} — antud tööpingi tehnilise teenindamise aeg;

T — aeg, mille kestel vooluliin peab olema varustatud toorikutega, aga koostamisliin valmis detailidega.

Kaasajal lastakse masinate põhiline kogus (ligikaudu 80%) välja seerialiselt. See põhjustas vooltootmise arengut ka seeriatootmisel. Siin kasutatakse vahelduv-vooltootmise liine, rühmiti töötlemise ja koostamise liine ning esemeliselt suletud jaoskondi.

Vahelduv-vooltootmisel kinnistatakse liini igale tööpingile tehnoloogiliselt ühetüübiliste, vahelduvalt töötlemisele lastavate detailide mitu operatsiooni. Ettemääratud aja kestel (tavaliselt mitu vahetust) vooltöödeldakse liinil üht detaili. Siis seadistatakse liin ümber teise temale kinnistatud detaili töötlemiseks jne.
Vahelduv-vooluliinile konstrueeritakse rakised, mis võimaldavad paigaldada ja kinnitada kõigi rühmiti töödeldavate detailide toorikuid, võtmata rakiseid liini ümberseadistamisel pingilt maha.
Rühmiti töötlemisel tehakse liini igal pingil erinevate tehnoloogiliste protsesside mitmeid operatsioone. See võimaldab kasutada mitmekohalisi erirakiseid, kuhu paigaldatakse ja kinnitatakse kõik rühma detailid, mis on kinnistatud selle liini juurde. Seega tehakse nende detailide tehnoloogiliste protsesside operatsioonide kompleks igal pingil. Rühmiti töötlemisel suureneb tootmisriistade koormatus ja liin töötab tööpinkide ümberseadistamiseta.
Rühmiti ja vahelduv-vooluliinide projekteerimise aluseks on hoolikalt läbitöötatud tehnoloogilised protsessid.
Vahelduvvoolusega ja rühmiti töötlemist (koostamist) tehakse harilikel ja automaatliinidel.
Konstruktiivselt ja tehnoloogiliselt sarnaste detailide töötlemiseks kasutatakse ka esemeliselt kinnisi jaoskondi. Nende detailide töötlemise tehnoloogilistel protsessidel on ühesugune struktuur, ühetaolised operatsioonid ja ühtlane täitmise järjekord.
Mitmeid tehnoloogilisi menetlusi, mis on tekkinud massilisel vooltootmisel, kasutatakse edukalt mitte ainult seeria-, vaid ka üksiktootmisel. Näiteks jaotatakse nii üksik- kui ka masstootmisel koostamine sõlm- ja üldkoostamiseks.
Masinatehaste jaotamine tootmisviiside alusel on tinglik.
Paljudel juhtudel tehakse masstootmisega tehaste üksikutes jaoskondades töid seerialiselt. Osaliselt koostatakse masinate ja nende töömahukate sõlmede vooluviisilise üldkoostamise kõrval väikese töömahuga sõlmi seerialiselt, samuti valmistatakse väikese mehaanilise töötlemise mahuga detaile seerialiselt.
Tehnoloogiliste tootmisriistade suure tootlikkuse tõttu tehakse masstootmises lehtmaterjali stantsimise ja sepatsehhides töid seeriatootmise printsiipide alusel.
Tootmist võib nimetada massiliseks, kui enamikul töökohtadel tehakse ühte pidevalt korduvat operatsiooni ja kui töökohad on paigutatud vastavalt tehnoloogilisele protsessile. Kui aga enamikul töökohtadel tehakse mitmeid perioodiliselt korduvaid operatsioone, siis tuleb tootmine lugeda seerialiseks. Operatsioonide perioodilise kordumise puudumine töökohtadel iseloomustab üksiktootmist.

II PEATÜKK

TÄPSUS MASINAEHITUSES

1. TÖÖSTUSLIKUD HÄLBED JA ETTEANTUD MÕÕTMETE SAAMISE VIISID

Masinaehituse tehnoloogias mõistetakse täpsuse all valmistatavate toodete vastavust varem kindlaksmääratud prototüübile või eeskujule. Mida parem on see vastavus, seda suurem on täpsus. Masina valmistamise tehnoloogilise protsessi ühelgi etapil pole välditavad ühed või teised hälbed, seetõttu pole absoluutne täpsus praktiliselt saavutatav.

Rea tehnoloogiliste tegurite mõju tõttu tekivad toorikute valmistamisel ja järgnevates mehaanilise töötlemise protsessides nii toorikutel kui ka detailidel mõõtmete hälbed, pindade kuju moondumised ja pindade vastastikuse asendi vead. Järgneval sõlmede ja kogu masina koostamisel tekivad viimase elementide vastastikuse asendi hälbed. Need hälbed on tingitud liidetavate detailide ebatäpsest valmistamisest ja koostamisprotsessis asetleidvatest töstuslikest kõrvalekalletest.

Tehnoloogilise protsessi erinevatel etappidel tekkivad hälbed on omavahel seotud. Masina koostamise täpsus sõltub tema detailide valmistamise täpsusest, viimane aga omakorda toorikute valmistamise täpsusest. Seepärast tuleb täpsuse küsimused lahendada mitte isoleeritult, vaid kompleksselt kogu tehnoloogilise protsessi ulatuses.

Täpsus on väga oluline masinate ekspluatatsiooniomaduste parendamisel ja nende valmistamise tehnoloogilise protsessi koostamisel. Kiiruse ja erikoormuse suurendamine on saavutatav ainult detailide töötlemistäpsuse tõstmisega. Väikese täpsusega hammasrattad ei või töötada suurtel kiirustel, kuna sellisel juhul hakkab ülekandele mõjuma täiendav löökkoormus. Jaotusmehhanismi töö täpsus sõltub tervenisti jaotusahela detailide (jaotuskettad, hammasrattad jt.) valmistamise täpsusest. Täpsuse suurendamisel kasvab masina iga ja töökindlus.

Toorikute valmistamise täpsuse suurendamine vähendab järgneva mehaanilise töötlemise mahtu ja materjalikulu mehaaniliseks töötlemiseks vajalike töötlemisvarude vähenemise tõttu. Mehaanilise töötlemise täpsuse suurendamine vähendab masina koostamise töömahtu tänu sobitamise osalisele või täielikule äralangemisele.

Täpsuse suurendamine kindlustab masina detailide ja sõlmede vahetatavuse. Vahetatavus omakorda annab võimaluse kasutada voolkoostamist ja kiirendab ekspluatatsioonisolevate masinate remonti.

Erilise tähtsusega on täpsuse küsimused tootmise automatiseerimisel. Sel juhul ei pea toodangu vajalik kvaliteet johtuma töölise oskustest, vaid peab olema tehnoloogiliste seadmete stabiilse ja kindla töö tulemuseks.

Tootmise automatiseerimise arendamisel muutub stabiilse kvaliteediga toodangu saamise probleem järjest aktuaalsemaks. Lahendus peab põhinema täpsust mõjutavate tehnoloogiliste tegurite põhjalikul uurimisel, seadmete ja rakiste töötingimuste hoolikal tundmaõppimisel ja samuti uute progressiivsete tehnoloogiliste meetodite otsimisel.

Täpsuse saavutamiseks tehakse järgmist.

1. Määratakse kindlaks masina ja tema elementide valmistamise vajalik täpsus, lähtudes masinale esitatavatest nõuetest ja tema otstarbest. Selle ülesande lahendab konstruktor teoreetiliste ja eksperimentaalsete andmete alusel, võttes arvesse analoogiliste masinate ekspluateerimise kogemusi. Mõnikord kasutatav lähenemisviis «mida täpsem, seda parem» on väär ja sageli masina tegelike töötingimuste mittetundmise tulemuseks. Masina valmistamise täpsus tuleb määrata, arvestades kulutusi tema valmistamiseks ja tema tööiga, aga samuti kulutusi masina ekspluateerimisel ja tema kasutamise tingimusi.
2. Valmistamise etteantud täpsuse alusel määratakse vajalikud kontrollimise meetodid ja vahendid. See metroloogiline ülesanne on vahetult seotud antud toote valmistamise tehnoloogiaga.
3. Tehnoloogiliste protsesside vastava koostisega kindlustatakse masina ja tema elementide valmistamise etteantud täpsus, pidades silmas kõige suuremat tootlikkust ja vähimaid kulutusi nende teostamiseks.
4. Määratakse kindlaks mehaanilise töötlemise operatsioonide tehnoloogilised tolerantsid (tooriku vahepealsete mõõtmete tolerantsid) ja niinimetatud abilähete tolerantsid.
5. Laboratoorse ja tööstusliku uurimisega määratakse kasutuselolevate või uute tehnoloogiliste meetodite ja protsesside faktiline täpsus.
6. Selgitatakse välja etteantud täpsuse mittesaavutamise põhjused tööstuslikes tingimustes ja otsitakse teid täpsuse tõstmiseks koos vastavate abinõude kavandamisega.

Neli viimast ülesannet lahendab tehnoloog uute tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel, juurutatavate viimistlemisel ja kasutatavate uurimisel.

Vaatleme üksikasjalikumalt mehaanilise töötlemise ja koostamise

täpsust, seda mõjutavaid tehnoloogilisi tegureid ja meetodeid selle tehnoloogiliseks kindlustamiseks.

Mehaanilise töötlemise täpsus. Igal enam või vähem keerulisel detailil kuulub töötlemisele kogum omavahel seotud pindu. Antud detaili töötlemise analüüsil eristatakse mõõtmete ning pindade kuju ja vastastikuse asendi täpsust.

Detaili üksikute pindade mõõtmete täpsus (silindrilise välis- või sisepinna läbimõõt, ava sügavus, koonuse nurk jms.) reglementeeritakse detaili tööjoonisele märgitavate tolerantsidega.

Pinna kuju täpsuse all mõistetakse tema vastavuse astet temaga samasele geomeetriliselt õigele pinnale. Kujuhälbeid on väga mitmesuguseid. Silindriline pind võib olla pisut kooniline, ristlõikes mitteümar ja kõverdunud teljega. Tasapind võib olla väikeste kumerustega, nõgus, kiivas või muude kujuhälvetega. Kaaspindade kujuhälbed on tihti suurema tähtsusega detaili tööle mehhanismis kui nende mõõtmete hälbed. Pinna lubatud kujuhälve antakse sageli pinna mõõtme tolerantsi osana. Võlli kaela töötlemisel lubatud ovaalsus ja koonilisus kogu kaela pikkusel on tavaliselt alla poolt läbimõõdu tolerantsi. Tasapindade ja silindriliste pindade kuju piirhälbed määrab ГОСТ 10356-63.

Detaili pindade vastastikuse asendi hälvete hulka kuuluvad: astmelise võlli osade ekstsentriline (eritelgne) asend, plaatide ja liistude vastaskülgede mitteparalleelne asend, silindrilise pinna telje ja tema otsa mitteperpendikulaarsus, avade asendi hälbed korpusdetailides jt.

Paralleelsuse ja perpendikulaarsuse piirhälbed ning ots- ja radiaalviskumise piirsuurused määrab ГОСТ 10356-63. Pindade lubatud asendihälbed määratakse sageli kindlaks kogemuste alusel, mis on saadud masinate ekspluatatsiooniandmete üldistamise tulemusena.

Üldine (summaarne) töötlemishälve on rea esmaseid hälbeid tekitavate tehnoloogiliste tegurite mõju tulemus. Nende tegurite hulka võib lugeda järgmisi.

1. Hälbed, mis tulenevad töödeldava tooriku ebatäpsest paigaldamisest tööpingis. 2. Töötlemishälbed, mis tekivad tehnoloogilise süsteemi pink-rakis-toorik-tööriist lõikejõudude poolt esilekutsutud elastsete deformatsioonide tulemusena. 3. Hälbed, mis tekivad tooriku ja tehnoloogilise süsteemi teiste elementide deformeerumise tulemusena kinnitusjõudude mõjul 4. Töötlemishälbed, mis tulenevad lõikeriista mõõdulisest kulumisest. 5. Pingi häälestamise vead (proovimõõtmiste vead prooviläbimite meetodiga töötlemisel). 6. Hälbed, mida põhjustab tööpingi (ja mõnel juhul tööabinõu) geomeetriline ebatäpsus. 7. Hälbed, mis tulenevad tööriista valmistamise ebatäpsusest. 8. Töötlemishälbed, mis tekivad tehnoloo-

gilise süsteemi üksikute lülide soojuslike deformatsioonide tulemusena.

Hälbed tekivad samuti tooriku ja valmisdetaili materjalis esinevate jääkpingete mõjul. Need hälbed võivad töödeldava tooriku mitteküllaldase jäikuse korral omandada suure väärtuse.

Tööjoonisega etteantud täpsuse võib tagada mitmesuguste tehnoloogiliste meetoditega. Individuaaltootmises tagatakse see tööpinki paigaldatava tooriku individuaalse rihtimisega ja järkjärgulise laastu eemaldamisega prooviläbimite abil, millega kaasnevad proovimõõtmised. Etteantud mõõde saadakse järkjärgulise liginemise meetodil ja töötlemise täpsus sõltub töölise kvalifikatsioonist.

Seeria- ja masstootmises tagatakse täpsus mõõtmete automaatse saamise meetodil eelnevalt häälestatud tööpingis. Toorik paigaldatakse spetsiaalsetesse rakistesse varem määratud lähtepindadele ilma rihtimiseta. Toorikute küllalt suure partii puhul on see meetod tootlikum, kuna töötlemine toimub ühe läbimiga ja ajakulu tööpingi eelnevale häälestamisele jaguneb toorikute suurele kogusele. Töötlemise täpsus sõltub sel juhul häälestaja kvalifikatsioonist, kuna viimasel tuleb nürinenud tööriista vahetamisel perioodiliselt häälestada tööpinki ja väikeste töötlemise tolerantside puhul veel tööriista püsivusaja vältel tööpinki järelhäälestada.[1]

Mõõtmete automaatse saamise meetodil töötlemise näideteks võivad olla mitme teraga treimine, freesimine pikifreespingis, peensisetreimine ja teised ühe läbimiga töötlemise viisid. Töödeldud detailide kvaliteeti kontrollitakse valikuliselt statistilise kontrolli meetodite järgi, keerukama töötlemisviisi puhul aga sajaprotsendiliselt (operatsioonkontroll).

Mõlema vaadeldud meetodi puhul mõjub täpsusele subjektiivne tegur. Esimese meetodi puhul avaldub see mõju individuaalselt iga detaili töötlemisel, teise meetodi puhul — detailide partiis, mis on saadud tööpingilt tema etteantud mõõtmetele häälestuste või järelhäälestuste vahepeal.[1]

Subjektiivse teguri mõju töötlemise täpsusele kaob «mõõtmeliste» lõikeriistade (hõõritsad, tõmbekammid, kujuterad, kalibreerivad sooneterad jt.) kasutamisel. Ava läbimõõdu täpsus ei sõltu antud juhul pingil töötaja ega häälestaja kvalifikatsioonist, kuna tööriista vahetamisel häälestusmõõde ei muutu.

Väike- ja keskseeriatootmises kasutatakse etteantud mõõtmete saamiseks mõnevõrra erinevat meetodit. See seisneb selles, et iga detaili töötlemisel seatakse lõikeriist algasendisse limbi järgi ja

[1] Toorikute käsitsi kinnitamisel võib töötlemise täpsus kinnitusjõudude ebaühtluse tõttu sõltuda töölisest.

töödeldakse ühe läbimiga. Limbi vajalik jaotus määratakse kindlaks esimese detaili proovitöötlemisel või etaloni järgi. Antud juhul mõjutavad töötlemistäpsust kaht liiki subjektiivsed tegurid: üks neist on seotud limbi vajaliku jaotuse kindlaksmääramise veaga (häälestusviga), teine — iga detaili puhul korduva lõikeriista seadmise veaga limbi leitud jaotuse järgi.

Automatiseeritud tootmises (detailide töötlemisel automaatpinkides ja automaatliinides) hakatakse viimasel ajal kasutama teist, progressiivsemat meetodit etteantud täpsuse kindlustamiseks. See seisneb selles, et tööpinki ehitatakse mõõte- ja reguleeriv seadis (järelhäälestur), mis töödeldava detaili väljumisel tolerantsiväljast automaatselt järelhäälestab (korrigeerib) süsteemi etteantud mõõtmele. Töötlemise niisuguse meetodi puhul tulevad kõik detailid kõlblikud. Subjektiivse teguri mõju on siin välditud, kui mitte arvestada järelhäälesturi enda reguleerimisviga. Selle suurus mingi konstandi näol mõjutab kogu detailide partiid, mis on saadud tööpingist järelhäälesturi reguleerimiste vahepeal.

Seadiseid, mis töötavad kirjeldatud skeemi järgi, nimetatakse tihti tagasisidega seadisteks, kuna mõõteseadis, mis kontrollib töödeldud detaili, annab teatatava mõõtme väljumisel kindlaksmääratud piiridest käskluse tööpingi tööorganile. Antud tüüpi seadised on iseloomulikud tööpinkidele, kus töötlemine toimub ühe läbimiga (läbiv tsentriteta lihvimine, peen- ja puhassisetreimine jms.).

Tööpinkidele, milles töötlemine toimub mitme läbimiga (välisümarlihvimine ja siselihvimine), on iseloomulik käigul mõõtvate seadiste kasutamine. Etteantud mõõtme saavutamisel lülitavad need seadised tööpingi ettenihke automaatselt välja.

Käesoleval ajal on olemas palju selliseid süsteeme. Need on tuntud aktiivse kontrolli vahendite nimetuse all. Nende tootmisse juurutamine annab võimaluse tõsta töötlemise täpsust ja tootlikkust.

Koostamise täpsus. Masina koostamisel võivad esineda tema elementide vastastikuse asendi hälbed, ebakvaliteetsed ühendused ja detailide ning sõlmede kohaliku ja üldise iseloomuga deformatsioonid.

Need kõrvalekalded alandavad masina talitluslikku kvaliteeti, põhjustades selle omadustes geomeetrilisi, kinemaatilisi ja muid vigu. Metallilõikepingi kaasdetailide ja -sõlmede ebaõige vastastikune asend vähendab pingi geomeetrilist ja kinemaatilist täpsust. Pöörlevate sõlmede (näit. turbiini rootorite) ebaõige koostamine põhjustab nende tasakaalustamatuse. Põkkude ebakvaliteetne ühendus vähendab kontaktjäikust ja hermeetilisust.

Hüdrauliliste masinate väär koostamine võib põhjustada nende kasuteguri, tootlikkuse ja nende poolt arendatava surve vähene-

mise. Taolisi näiteid on hulgaliselt, neid võib leida masinaehituse igast harust.

Koostamishälbeid põhjustavad:

1) kaasdetailide mõõtmete, kuju ja pindade vastastikuse asendi hälbed. Need hälbed mõjuvad lõtkudele ja pingudele, halvendades etteantud iste. Nende hälvete tulemusena tekivad pöörlevate sõlmede koostamisel radiaal- ja otsviskumised, eritelgsused ja samuti masina liidetud elementide väärad asendid;

2) kaaspindade ebakvaliteetne töötlemine, mille tulemusena viimased liibuvad ebatihedalt ning väheneb liite kontaktjäikus ja hermeetilisus;

3) masina elementide ebatäpne paigaldamine ja fikseerimine koostamisprotsessis;

4) masina kaaselementide ebakvaliteetne sobitamine ja reguleerimine;

5) koostamisoperatsioonide teostamise tingimuste ja režiimide rikkumine (keermesliidete ebaühtlane pingutamine, mis kutsub esile liidetavate elementide viidakuse ja deformatsioonid; viidakused ja deformatsioonid kokkupressimisel, liimimisel ja muude ühendamisviiside puhul; deformatsioon detailide ja sõlmede kinnitamisel koostamisabinõusse);

6) koostamisseadmete, rakiste ja instrumentide geomeetrilised ebatäpsused ja samuti nende mitteküllaldane jäikus;

7) koostamisseadmete häälestusvead;

8) tehnoloogilise süsteemi (koostamisseade-rakis-tööriist- koostatav objekt) elementide soojuslikud deformatsioonid.

Koostamishälbed võivad tekkida ka detailide materjalis olevate jääkpingete mõjul (eriti koostatavate objektide väikese jäikuse puhul).

Toodete ebatehnoloogiline konstruktsioon raskendab etteantud täpsuse saavutamist. Koostamise täpsus kindlustatakse järgmiste meetoditega.

1. Toote kaasdetailide ja -sõlmede individuaalse sobitamisega. Selleks kasutatakse viilimist, kaabitsemist, soveldamist ja samuti kaasdetailide koostöötlemist (avade sisetreimine ja avardamine nende samateljelisuse kindlustamiseks). Nimetatud meetodit kasutatakse individuaal- ja väikeseeriatootmises ning juhtudel, kui konstruktsioonilised tolerantsid on väiksemad tehnoloogilistest.

2. Lõtkude või toote elementide vastastikuse asendi reguleerimisega. Reguleeritakse kompensaatoritega (vaheseibid, kiilud, kruvid), mis peavad olema ette nähtud toote konstruktsioonis. Kaasdetailid töödeldakse suurte tolerantsidega ja nõutav lõtk kindlustatakse individuaalse paigaldusega või vastava kompensaatori reguleerimisega.

3. Liitmine täis- või osavahetatavuse printsiibil. Nimetatud mee-

todit kasutatakse juhtudel, kui konstruktsioonilised tolerantsid on võrdsed või suuremad tehnoloogilistest. Koostatakse ilma sobitamiseta ja reguleerimiseta.

4. Liitmine valikvahetatavuse printsiibil. Toote detailid töödeldakse suurte tolerantsidega ja ühenduse etteantud täpsus kindlustatakse sobivate detailide vahetu väljavalimisega või detailide eelneva sorteerimisega mõõtmegruppidesse. Nimetatud meetodit kasutatakse suure täpsusega ühendusi omavate sõlmede koostamisel.

Ühe või teise meetodi valimine täpsuse kindlustamiseks toimub koostatava toote mõõtahelate analüüsi abil.[1]

Mõõtahela sulgeval lülil tekkiv viga võrdub kõigi teiste antud mõõtahelat moodustavate lülide vigade summaga:

$$\omega_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \omega_i. \qquad (6)$$

Mõõtahela sulgeva lüli tolerants:

$$\delta_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i, \qquad (7)$$

kus δ_i — ahela i-nda lüli tolerants;

m — mõõtahela lülide arv koos sulgeva lüliga.

Mõõtahela sulgeva lüli tolerantsi määrab masina konstruktor, lähtudes selle talitluslikust ülesandest. Selle tolerantsi väikese väärtuse ja paljulülilise ahela puhul saadakse ülejäänud lülidele väga ranged tolerantsid. Sellisel juhul toimub koostamine reguleerimise meetodil toote konstruktsiooni samaaegse korrigeerimisega vastava kompensaatori sisseviimise abil. Lihtsamate mõõtahelate ja sulgeva lüli väikese tolerantsi puhul võib kasutada valikvahetatavuse meetodit. Lihtsate mõõtahelate ja sulgeva lüli mitte eriti range tolerantsi puhul kasutatakse tavaliselt täisvahetatavuse meetodit.

2. TOORIKUTE PAIGALDAMINE TÖÖTLEMISEKS TÖÖPINGIS

Üheks põhjuseks, mis kutsub töötlemisel esile hälbe taotletavast mõõtmest ja ruumilised hälbed töödeldava tooriku geomeetriliste elementide õigest vastastikusest asendist, on tooriku ebaõige paigaldus tööpingis.

Töödeldava tooriku juures eristatakse järgmisi pindu: a) töödeldavad pinnad, mis alluvad tööriista toimele; b) pinnad, mille abil orienteeritakse toorik mõõtuseatud tööriista suhtes; c) pinnad,

[1] Mõõtmete analüüs ja mõõtahelate teooria esitatakse distsipliinis «Tolerantsid ja tehniline mõõtmine». Siin tuuakse ära ainult mõõtahelate põhivõrrandid.

millele toetuvad kinnitusseadise tööelemendid; d) pinnad, millest lähtudes mõõdetakse taotletavat mõõdet; e) vabad, s. t. antud paigalduse juures kasutamata pinnad.

Tooriku pindu (samuti jooni ja punkte), mis orienteerivad teda tööpingis paigaldamisel, nimetatakse *lähteelementideks* või *paigalduslaheteks*. Lähteelementidega määratud asendi andmist toorikule nimetatakse tooriku lähtamiseks.

Pindu, jooni ja punkte, millest lähtudes mõõdetakse taotletavaid mõõtmeid, nimetatakse *mõõtelaheteks*.

Töödeldavad pinnad, paigaldus- ja mõõtelähted ning samuti lõikejõu suund määravad paigalduselementide, millele asetatakse toorik, ja kinnituselementide asetuse paigaldamisel.

Peab eristama paigaldamist etteantud mõõtmete automaatse saamise moodusel töötlemiseks, kus mõõtelähte asend mõõtuseatud tööriista suhtes vahetult mõjutab taotletava mõõtme tolerantsi, ja paigaldamist etteantud mõõtmete individuaalse saamise moodusel töötlemiseks, kus mõõtelähte asend tööriista suhtes ei avalda mõju taotletava mõõtme tolerantsile, kuna etteantud mõõde saadakse prooviläbimite ja vahetult mõõtelähtest lähtuvate proovimõõtmistega.

Esimese mooduse puhul kasutatakse tavaliselt e r i r a k i s e i d[1], milleks on ühisesse korpusse monteeritud paigaldus-, kinnitus- ja lõikeriista juhtelemente sisaldavad seadised.

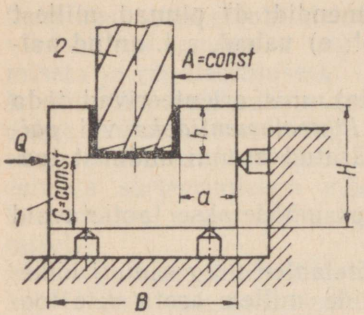
Toorik paigaldatakse tema lähtepindade viimisega puutesse rakise paigalduselementidega ja tooriku järgneva kinnitamisega kinnitusseadiste abil. Selle paigaldusmooduse eelisteks on kiirus, rihtimise vältimine ja subjektiivsete tegurite mõju kõrvaldamine tooriku asendi täpsusele rakises.

Mõõtmete automaatse saamise moodusega töötlemisel häälestatakse tööpink eelnevalt, s. t. seatakse tööriist ja rakis niisugusesse vastastikusesse asendisse, mille puhul on kindlustatud ühe läbimiga töötlemisel etteantud mõõtmest kinnipidamine. See asend jääb muutmatuks kuni järjekordse reguleerimiseni, mis on vajalik tööriista mõõtmelise kulumise või nürinenud tööriista vahetusest tingitud uue häälestuse tõttu.

Rakise kasutamisel võib tekkida paigalduse, s. o. tooriku asendi viga. Paigaldusviga ε kui üks teostatava mõõtme üldise hälbe komponent summeerub lähtamisveast (ε_l), kinnitusveast (ε_k) ja rakise ebatäpsusest tingitud tooriku asendi veast (ε_r).

Lähtamisveaks nimetatakse mõõtelähte piirkauguste vahet mõõtuseatud tööriistast. Lähtamisviga tekib, kui tooriku mõõtelähe ei lange kokku paigalduslähtega; ta ei ole abstraktne suurus, vaid

[1] Rakiste elemente ja konstrueerimise printsiipe vaadeldakse distsipliinis «Rakiste konstrueerimise alused».



Joon. 7. Paigaldamisskeem lähtamisel tasapindade järgi

kuulub paigalduse antud skeemi juures konkreetse teostatava mõõtme juurde. Seepärast peab arvutustes suurusele ε_l andma vastavat mõõdet näitava indeksi. ε_l sõltub ka tooriku lähtepindade kujuhälbest.

Joonisel 7 on esitatud tooriku *1* paigalduse skeem soone freesimiseks freesiga *2*. Tooriku kinnitamine toimub horisontaalselt mõjuva jõuga *Q*.

Frees on seatud rakise paigalduselementide suhtes mõõtmetele $A = \text{const}$ ja $C = \text{const}$. Sõltumata mõõtme *B* kõikumisest on $\varepsilon_l = 0$, kuna antud juhul paigaldus- ja mõõtelähe ühtivad. Freesiga töödeldud toorikute partiis kutsuvad mõõtme *a* kõikumise esile ainult lõikeprotsessist tingitud nähtused (lüke, freesi kulumine jms.).

Mõõtme *h* teostamisel töötlemishälve kasvab mõõtelähte asendi muutlikkuse mõjul toorikute partiis. Jooniselt nähtub, et lähtamisviga mõõtmele *h*

$$\varepsilon_{l_h} = \delta_H,$$

kus δ_H — tooriku mõõtme *H* tolerants.

Kinnitusveaks ε_k nimetatakse mõõtelähte piirkauguste vahet mõõtuseatud tööriistast töödeldavate toorikute nihkumise tulemusena kinnitusjõu mõjul. Toorikute partiile on see viga võrdne nulliga, kui nihe on konstantne, kuigi seejuures väärtuselt suur; sellisel juhul võib teostatava mõõtme tolerantsivälja keskjoone koordinaati korrigeerida tööpingi häälestusega.

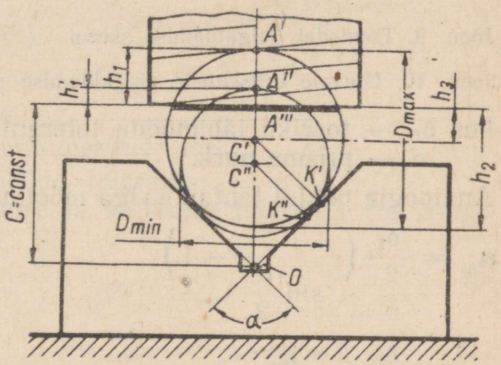
Pöördudes joonisel 7 toodud näite juurde, näeme, et kinnitusviga mõõtmele *a* ei ole võrdne nulliga ($\varepsilon_{k_a} \neq 0$), aga mõõtmele *h* võrdub nulliga ($\varepsilon_{k_h} = 0$), sest ülemine mõõtetasapind nihkub tooriku kinnitamisel piki oma pinda. Tooriku mõõtelähte nihkumine toimub kinnitusjõudu edasiandva ahela lülide (toorik, rakise paigalduselemendid ja korpus) deformatsiooni tagajärjel.

Tooriku asendi viga ε_r on rakise ebatäpse valmistamise, tema paigalduselementide kulumise ja samuti rakise tööpinki paigaldamise

vigade tulemuseks. Selle suurust reglementeeritakse kindlate normidega ja kontrollitakse perioodiliselt rakise kasutamise käigus.

Vead ε_l, ε_k ja ε_r on määratud kui suurused, mis omavad teostatava mõõtmega sama sihi. Nad moodustavad juhuslike suuruste hajumisvälja, millede jagunemist võib esimeses lähenduses lugeda vastavaks normaaljagunemisseadusele. Sellise tingimuse puhul leiame paigaldusvea kui teostatava mõõtme summaarse hajumisvälja valemist

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_l^2 + \varepsilon_k^2 + \varepsilon_r^2}\,. \tag{8}$$



Joon. 8. Paigaldamisskeem lähtamisel välise silindrilise pinna järgi

Vaatleme näitena lähtamisvigade määramist toorikute erinevate paigaldusjuhtude puhul rakistes.

Lähtamisel silindrilise välispinna järgi paigaldusega prismale on tasapinna töötlemiseks mõõtmeni h_1 (joon. 8) mõõtelähte piirhälbed A' ja A'' mõõtuseatud tööriista A''' suhtes määratud suurusega $A'A''$ või vahega $h_1 - h'_1$; seejuures

$\varepsilon_{l_{h_1}} = A'A'' = OA' - OA''$;

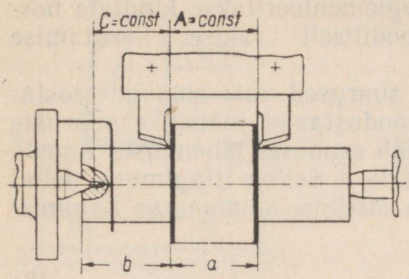
$$OA' = OC' + C'A = \frac{C'K'}{\sin\frac{\alpha}{2}} + C'A' = \frac{D_{max}}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right);$$

analoogia põhjal

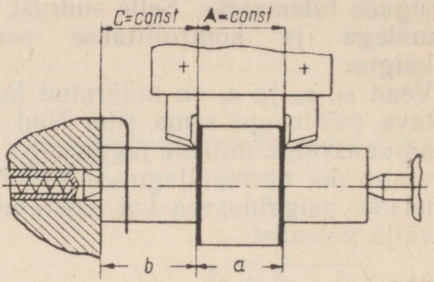
$$OA'' = \frac{D_{min}}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right).$$

Järelikult

$$\varepsilon_{l_{h_1}} = \frac{\delta_D}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 1\right), \tag{9}$$



Joon. 9. Tsentritel paigaldamise skeem



Joon. 10. Ujuvale esitsentrile paigaldamise skeem

kus δ_D — tooriku läbimõõdu tolerants;
α — prisma nurk.

Analoogia põhjal lähtamisviga mõõtmetele h_2 ja h_3

$$\varepsilon_{l_{h_2}} = \frac{\delta_D}{2}\left(\frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}} - 1\right); \qquad (10)$$

$$\varepsilon_{l_{h_3}} = \frac{\delta_D}{2} \cdot \frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}}. \qquad (10')$$

Paigaldamisel jäigale esitsentrile (joon. 9) ja astme otspindade paralleelsel töötlemisel on lähtamisviga võrdne nulliga mõõtmele a, aga ei võrdu nulliga mõõtmele b, mille mõõtelähteks on vasak otspind. Terad on seatud mõõtmetele $C = \text{const}$ ja $A = \text{const}$. Kui kõik tsentriavad toorikute partiis oleksid puuritud täiesti ühetaolistena, siis oleks mõõde b konstantne kogu partii ulatuses, ent tsentrimissügavuse hälbe tõttu muutub mõõtelähte kaugus terast, mis on seatud mõõtmele $C = \text{const}$. Seega on lähtamisviga mõõtmele b määratud tsentriava sügavuse tolerantsiga δ_{ts}:

$$\varepsilon_{l_b} = \delta_{ts}.$$

Paigaldamisel ujuvale esitsentrile (joon. 10) on võlli vasaku otspinna asend kogu toorikute partiile määratud toega ja püsib muutumatu terade suhtes, mis on seatud mõõtmetele $C = \text{const}$ ja $A = \text{const}$. Antud juhul paigaldus- ja mõõtelähe ühtivad ja järelikult $\varepsilon_{l_b} = 0$.

Silindrilise ava järgi jäigal tornil vaba istuga lähtamisel ja tooriku kinnitamisel otspinnast tema ülemise tasapinna töötlemiseks

mõõtmeni h ava teljest (joon. 11, *a*) saame maksimaalse ava telje nihkumise torni telje suhtes, kui ava läbimõõt on suurim (D_{max}) ja torni läbimõõt vähim (d_{min}); kui tera on seatud mõõtmele $C = \text{const}$, saame geomeetriliste sõltuvuste abil

$$\varepsilon_{l_h} = h_{max} - h_{min};$$

$$h_{max} = C + \frac{D_{max} - d_{min}}{2} = C + \frac{S_{max}}{2};$$

$$h_{min} = C - \frac{D_{max} - d_{min}}{2} = C - \frac{S_{max}}{2},$$

kus S_{max} — maksimaalne lõtk.

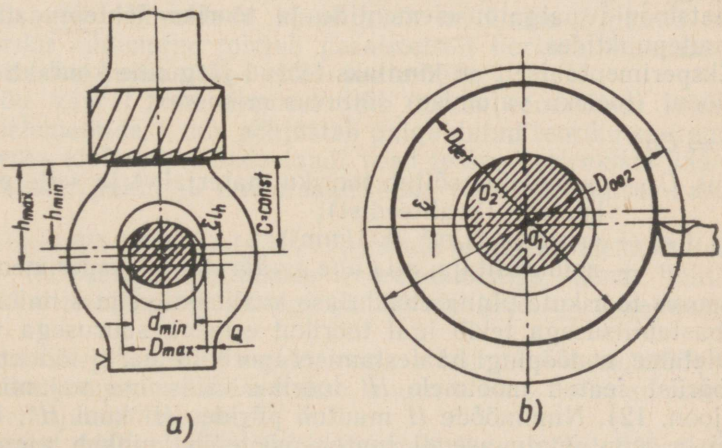
Järelikult

$$\varepsilon_{l_h} = S_{max} = S_{min} + \delta_A + \delta_B,$$

kus S_{min} — minimaalne (garanteeritud) lõtk;

δ_A — lähteava läbimõõdu tolerants;

δ_B — torni valmistamise ja kulumise tolerants (δ_B arvestab ε_r mõju).



Joon. 11. Jäigale tornile lõtkuga paigaldamise skeem

Press-istu puhul jäigal tornil ja istamisel laialisurutavale tornile on lõtk ja ava telje nihkumine torni telje suhtes välditud ning järelikult lähtamisviga puudub ($\varepsilon_{l_h} = 0$).

Tooriku paigaldamisel vaba istuga ja lähtamisega ava järgi jäigale tornile ning kinnitamisel otspindadest välise pöördpinna töötlemiseks (joon. 11, *b*) on samuti võimalik ava telje O_1 nihku-

mine torni telje O_2 suhtes suuruse ε_1 võrra; kuid see nihe ei mõjuta läbimõõdu täpsust, kuna pöördpind moodustub pöörlemistelje O_2 suhtes sõltumata tooriku telje O_1 ja pöörlemis- (torni) telje O_2 suhtelise nihke suurusest ja suunast. Seetõttu tekib ainult töödeldud pinna ekstsentrilisus ava suhtes.

Toodud näidetest ilmneb, et rakise paigalduselementide mõõtmete ja asendi muutmisega võib lähtamisviga vähendada või viia nullini (kui ühitada paigaldus- ja mõõtelähe).

Tooriku kinnitamine paigaldamisel toimub tema paigalduslähte abil määratud asendi fikseerimiseks ja paigalduse küllaldase jäikuse kindlustamiseks.

Tooriku kinnitamisel on võimalikud tema elastsed deformatsioonid, mis mõjutavad töötlemise täpsust. Vastava kinnitusseadiste ja tugede paigutusega saavutatakse enamikul juhtudel deformatsioonide vähenemine väga väikeste väärtusteni. Kuid ebajäikade toorikute kinnitamisel on nende deformatsioonil oluline mõju töödeldud pindade kuju ja vastastikuse asendi täpsusele.[1]

Kinnitamisel nihkub toorik kinnitusjõudude mõjul paigalduslähtega määratud asendist. See on tingitud kinnitusjõudu edasiandva ahela elementide üldistest ja kontaktideformatsioonidest.

Kõigi paigutiste bilansis omavad suurimat kaalu kontaktideformatsioonid paigalduselementide ja tooriku lähtepindade kokkupuutepunktides.

Eksperimentaalselt on kindlaks tehtud järgmine kontaktideformatsiooni (tooriku vajumise) sõltuvus erisurvest:

$$y = Cq^m,$$

kus C — tegur, mis sõltub tooriku materjalist ja selle pinna olukorrast (kvaliteedist);

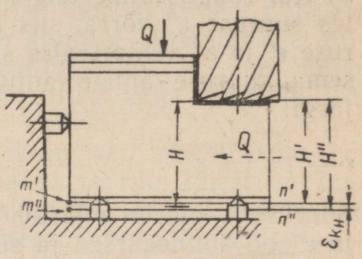
q — erisurve N/m² (kG/mm²);

m — astmenäitaja, alla ühe (määratakse eksperimentaalselt).

Seoses toorikute pinna ebaühtlase kvaliteediga ja kinnitusjõudude ebastabiilsusega tekib igal toorikul erineva suurusega vajumine. Oletame, et tööpingi häälestamisel toorikute partii töötlemiseks oli tööriist seatud mõõtmele H' tooriku väikseima vajumise juures (joon. 12). Nimimõõde H muutub piirides H' kuni H'', kuna tööriista muutumatu asendi juures mõõtelähe nihkub asendist $m'n'$ asendisse $m''n''$; seoses mõõtelähte nihkumisega muutub taotletav mõõde H täiendavalt kinnitusvea $\varepsilon_{k_H} = H'' - H'$ võrra. Kinnitusviga on, nagu varem näidatud, määratav kui mõõtelähte piirkauguste vahe mõõtuseatud lõikeriistast.

Kinnitusviga on tavaliselt väike. Keskmiste mõõtmetega tooriku

[1] Toorikute deformatsiooni nende kinnitamisel vaadeldakse üksikasjalikult distsipliinis «Rakiste konstrueerimise alused».



Joon. 12. Skeem kinnitusvea määramiseks

paigaldamisel punktikujulistele tugedele, kus pinnakihtide deformatsioon on suhteliselt suur, on see alla 100 μm. Puhtalt töödeldud lähtega toorikute paigaldamisel suure kontaktipinnaga tugedele (näiteks liistudele) on kinnitusviga tihti alla 10 μm. Paljudel juhtudel võib selle vea jätta arvesse võtmata.

Kinnitusviga võib vähendada, kasutades kinnitusseadiseid, mis annavad konstantse kinnitusjõu. Näiteks pneumaatilise kinnituse puhul on kinnitusviga väiksem kui käsitsi kinnitamisel, kuna viimasel juhul kinnitusjõud kõigub suuremates piirides. Kinnitusvea võib kahandada nullini kinnitusjõu suuna vastava valikuga. Näiteks, kinnitades tooriku horisontaalselt rakendatud jõuga (joon. 12), võib kõrvaldada kinnitusvea mõõtmele H, kuna sel juhul tooriku nihkumine toimub paralleelselt horisontaalse tasapinnaga, millest määratakse etteantud mõõde.

Kinnitusjõu vääral rakendamisel võib toorik eemalduda rakise paigalduselementidest, mis põhjustab paigaldatud tooriku suurema või väiksema nihkumise. Seda laadi vead tekivad erirakiste väära konstruktsiooni puhul ja universaalrakiste ebaratsionaalsel kasutamisel.

Kinnitusviga võib vähendada veel toorikute materjali mehaaniliste omaduste (kõvaduse) ühtlikkuse suurendamisega, nende lähtepindade kvaliteetsema teostusega ja rakiste jäikuse suurendamisega.

Eespool on märgitud, et paigaldusviga ε kui teostatava mõõtme üldise hälbe komponent määratakse suuruste ε_l, ε_k ja ε_r summeerimisega ruutjuurjuhise järgi.

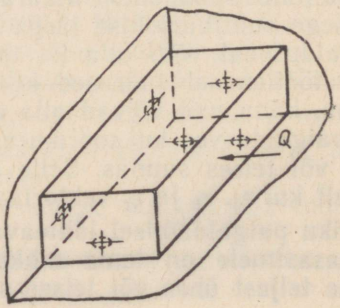
Paigaldusveal võib olla ka teine geomeetriline mõte. Pöördpindade töötlemisel suurused ε_l, ε_k ja ε_r omandavad vektorite iseloomu, kuna nad võivad olla erinevalt suunatud. Sel juhul määrab paigaldusvea kui tooriku asendi vea tema võimalik nihkumine ühes või teises suunas. Selle nihke suurus määratakse geomeetriliselt kui ε_l, ε_k ja ε_r vektoriaalne summa.

Tooriku paigaldamisel lähteava abil lõtkuga rakise tsentreerivale rõngasastmele on tema nihkumise suurus tsentreeriva rõngasastme teljest ühes või teises suunas määratud radiaalse lõtkuga

ε'. Kui rõngasastme telg on nihkunud spindli pöörlemistelje suhtes suuruse ε'' võrra, siis kogu paigaldusviga on määratud suuruse ε' ja ε'' vektoriaalse summaga. Paigaldusvea kõige tõenäolisema suuruse annab antud juhul summeerimine ruutjuurjuhise järgi:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}.$$

Suuruse ε suurim väärtus on võimalik sel juhul, kui vektorid ε' ja ε'' on kolineaarsed ja summeeruvad aritmeetiliselt.
Saadud ε väärtus määrab töödeldud pinna eritelgsuse lähteava suhtes, aga ei mõjuta selle läbimõõtu. Nagu edaspidi näeme, vajame seda eritelgsuse väärtust välispinna töötlemisvaru arvutamiseks.
Paigaldusviga on kõikidel juhtudel arvutatav geomeetrilistest seostest ja paigalduse skeemi analüüsist lähtudes.
Tehnoloogiliste protsesside projekteerimine on seotud lähte valikuga. Vaatleme põhilisi kaalutlusi nende valimisel.
Töödeldaval toorikul on nagu igal vabal tahkel kehal kuus vabadusastet: kolm sirgjoonelist liikumist koordinaattelgede sihis ja kolm pöörlevat liikumist samade telgede ümber. See määrab lähtepindade ja rakise paigalduselementide valiku ning vastastikuse asendi. Toorik surutakse oma lähtepindadega kinnitusseadiste abil rakise paigalduselementide vastu. Tooriku täielikuks orienteerimiseks peab paigalduselementide arv ja asetus olema selline, et lähete paigalduselementidele toetumise tingimuse täitmisel (s. o. kindla kontakti olemasolul nende vahel) ei saaks toorik nihkuda ega pöörduda mitte ühegi koordinaattelje suhtes. Sel juhul on toorikult võetud kõik vabadusastmed. Paigalduselemente (punkte) peab olema kuus (kuue punkti reegel); nende omavaheline asetus peab kindlustama tooriku stabiilse asendi rakises. Selleks tuleb elementidevaheline kaugus valida võimalikult suur. Seejuures väheneb ka lähtepindade makrogeomeetriliste vigade (konaruste) mõju tooriku asendile rakises.



Joon. 13. Kuuele punktile paigaldamise skeem

Joonisel 13 on toodud risttahukakujulise tooriku kuuele punktile paigaldamise näide. Toorik asetatakse alumise lähtepinnaga kolmele punktile, mis moodustavad paigaldustasapinna; kaks külgmist punkti suunavad toorikut pikema kitsa külje järgi ja üks punkt on tõkkeks.

Punktikujuliste tugede kasutamine sfäärilise, rihveldatud või lameda peaga tihvtidena võimaldab saada tooriku täiesti määratud ja püsiva paigalduse rakises. Niisugune paigaldusmoodus on iseloomulik mustade (töötlemata) lähtepindadega toorikutele.

Tooriku lähtamisel täpselt ja puhtalt töödeldud pindade järgi kasutatakse tugitihvtide asemel muljutiste vältimiseks tugiliiste või muid suurendatud tugipinnaga elemente.

Lähteks valitud pindade kogum tuleb töödelda tehnoloogilise protsessi esimeste operatsioonidega; seejuures tuleb kindlustada võimalikult täpne lähtepindade vastastikune asend.

Lähtepindade töötlemisel tuleb paigalduslähteks võtta töötlemata pinnad, nn. *must paigalduslähe.*

Mustaks paigalduslähteks võib valida tooriku pinnad, mida kas üldse ei töödelda või töödeldakse hiljem. Valitud mustlähe peab kindlustama võimalikult ühtlase töötlemisvaru eraldamise järgneval pindade töötlemisel lähtamisega töödeldud paigalduslähte järgi ja kõige täpsema töödeldud ja töötlemata pindade vastastikuse asendi detailil.

Mustad lähtepinnad peavad olema võimalikult siledad; nad ei tohi omada stantsimis- ja valukaldeid; neile ei tuleks paigutada valukanaleid, valupäid ja mudelite ning stantside lahutuspindu.

Juhul kui tooriku konfiguratsioon ei võimalda täita mustlähtele esitatavaid nõudeid, tehakse valandeil ja sepistel spetsiaalsed (abi-) valulisandid või sepislisandid, mida kasutatakse lähtena tehnoloogilise protsessi esimestel operatsioonidel ja kõrvaldatakse edasisel töötlemisel. Niisiis, põhilised kaalutlused, millest on otstarbekas juhinduda paigalduslähte valikul, võib lühidalt sõnastada järgneval kujul.

1. Tuleb kasutada nii palju kui võimalik lähete ühitamise põhimõtet, s. t. paigalduslähtena kasutada mõõtelähteks olevat pinda. Seejuures on vaja arvestada, et paremad tulemused täpsuse suhtes saavutatakse juhul, kui paigaldus- ja mõõtelähteks kasutatakse koostamislähet, s. o. pindu, mis määravad detaili asendi koostatud tootes (näiteks tsentraalne ava ja põia otspind hammasrattal). Kuna koostamis-, mõõte- ja paigalduslähe on omavahel seotud, peab tehnoloog lähte valimisel ja tehnoloogilise protsessi kavandamisel analüüsima mitte ainult töö-, vaid ka koostamisjooniseid. Samuti peab konstruktor detaili projekteerimisel arvestama koostamis-, mõõte- ja paigalduslähte ühitamise võimalust detaili töötlemisel.

2. Tuleb võimalust mööda kinni pidada lähte püsivuse põhimõttest ja töötlemise käigus kõikidel põhilistel tehnoloogilistel operatsioonidel kasutada paigalduslähteks ühtesid ja neidsamu pindu. Lähete ühtivuse ja püsivuse põhimõtted langevad kokku juhtudel, kui taotletavad mõõtmed on antud ühest küllalt püsivast mõõtelähtest. Kui mõõtelähted vahelduvad ja ei ole igal pool mõõtmetelt küllaldased, siis on raske rakendada esimest põhimõtet. Sel juhul rakendatakse teist põhimõtet, milleks valitakse vastav püsiv paigalduslähe.

Lähte püsivuse põhimõttest täielikumaks kinnipidamiseks moodustatakse detailidel sageli kunstlikke paigalduspindu, millel ei ole konstruktsioonilist otstarvet. Nende hulka kuuluvad tsentriavad võllide töötlemisel, ava kolvi otspinnas ja avad korpusdetailide lähtepindades nende paigaldamisel tihvtidele.

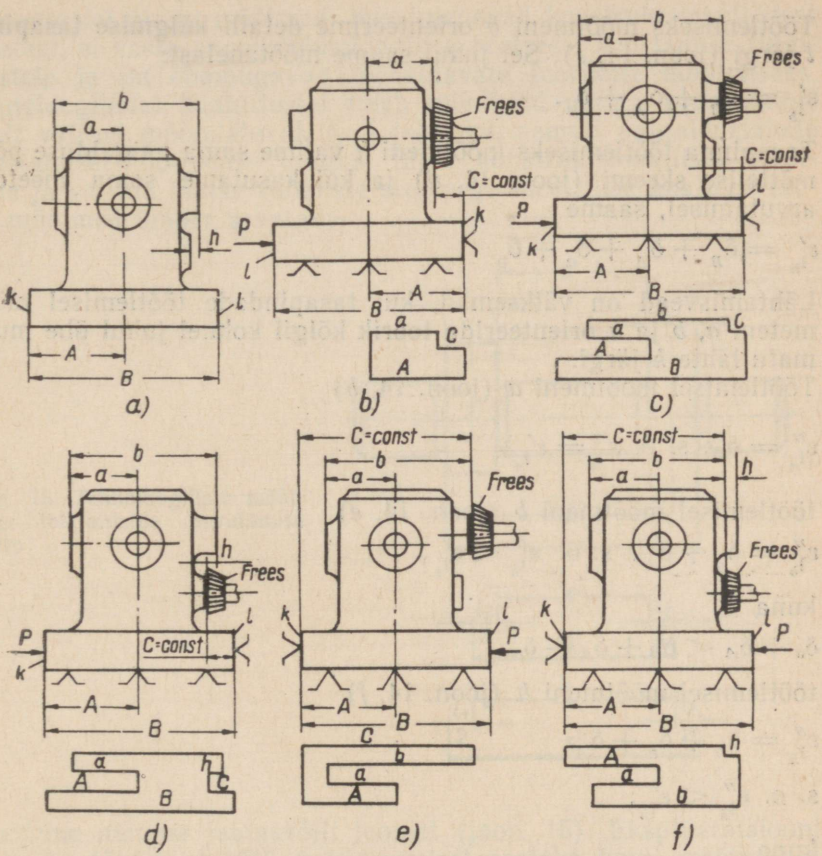
3. Kui paigalduslähte püsivust pole võimalik kindlustada, valitakse uueks paigalduslähteks töödeldud (soovitatav täpselt töödeldud) pinnad, mis kindlustavad töödeldava tooriku paigalduse jäikuse. Kui seejuures lähtepind ei ole mõõtelähteks, tehakse taotletava mõõtme tolerantsi kontrollarvutus ja vajaduse korral lähtepindade mõõtmete tolerantside ümberarvutus, s. t. kasutatakse nende pindade mõõtmete tolerantside tehnoloogilist vähendamist.

4. Paigalduslähe peab kindlustama tooriku paigalduse küllaldase stabiilsuse ja jäikuse. See saavutatakse lähtepindade vastavate mõõtmete ja nende vastastikuse asetusega.

Mõõtmete automaatse saamise moodusega töötlemisel võib musta paigalduslähet kasutada ainult ühekordseks paigaldamiseks. Tema korduv kasutamine võib tunduval määral rikkuda töödeldavate pindade vastastikust asetust. Täpsete valu- või stantsimismeetoditega koos järgneva vermimise-kalibreerimisega saadud toorikute puhul ei ole see reegel kohustuslik. On lubatav samuti (erandjuhtudel) mustlähte korduv kasutamine samas või sama tüüpi rakises, kus paigalduselementide ühesuguse asetusega kindlustatakse kontakt tooriku lähtepindadega samades punktides nagu mustlähte esimesel kasutamisel ja juhtudel, kui pole nõutav suur täpsus.

Lähte püsivuse mõju selgitamiseks lähtamisveale vaatleme kahte lähete ühtivuse põhimõttest mittekinnipidamise juhtu tooriku tasapindade järjestikulisel töötlemisel mõõtmeteni a, b ja h vastavalt joonisele 14, *a*.

Alumine tasapind on võetud põhiliseks paigalduslähteks. Külgmisi tasapindu k ja l kasutatakse järjestikku muudetavateks lähteteks. Need lähted on töödeldud eelnevatel operatsioonidel, kusjuures on kinni peetud mõõtmest A tolerantsiga δ_A tooriku telje ja tasapinna k vahel.



Joon. 14. Skeem lähtamisvea arvutamiseks lähte vahetamisel

Lähtamisvigade määramisel kasutame põhilisi mõõtahelate võrrandeid [valemid (6) ja (7)]. Nende ahelate skeemid on antud eskiisil iga paigalduse skeemi juures.

Tasapinna töötlemiseks mõõtmeni *a* orienteerime tooriku külgmise tasapinna *k* järgi (joon. 14, *b*). Mõõtahelast võib leida selle sulgeva lüli tolerantsi, s. t. lähtamisvea teostatavale mõõtmele:

$$\varepsilon'_{l_a} = \delta_C + \delta_A.$$

Kuna $C = \text{const}$, siis $\delta_C = 0$. Seega $\varepsilon'_{l_a} = \delta_A$, s. t. lähtamisviga on sel juhul võrdne paigaldus- ja mõõtelähet siduva mõõtme tolerantsiga.

Töötlemiseks mõõtmeni b orienteerime detaili külgmise tasapinna l järgi (joon. 14, c). Sel juhul saame mõõtahelast:

$$\varepsilon'_{l_b} = \delta_B + \delta_A + \delta_a.$$

Tasapinna töötlemiseks mõõtmeni h valime sama paigalduse põhimõttelise skeemi (joon. 14, d) ja kui kasutame sama meetodit arvutamisel, saame

$$\varepsilon'_{l_h} = \delta_B + \delta_A + \delta_a + \delta_b$$

Lähtamisvead on väiksemad, kui tasapindade töötlemisel mõõtmeteni a, b ja h orienteerida toorik kõigil kolmel juhul ühe muutmatu lähte k järgi.
Töötlemisel mõõtmeni a (joon. 14, b)

$$\varepsilon''_{l_a} = \delta_A, \text{ s. o. } \varepsilon''_{l_a} = \varepsilon'_{l_a};$$

töötlemisel mõõtmeni b (joon. 14, e)

$$\varepsilon''_{l_b} = \delta_a + \delta_A, \text{ s. o. } \varepsilon''_{l_b} < \varepsilon'_{l_b},$$

kuna

$$\delta_a + \delta_A < \delta_B + \delta_A + \delta_a;$$

töötlemisel mõõtmeni h (joon. 14, f)

$$\varepsilon''_{l_h} = \delta_b + \delta_a + \delta_A,$$

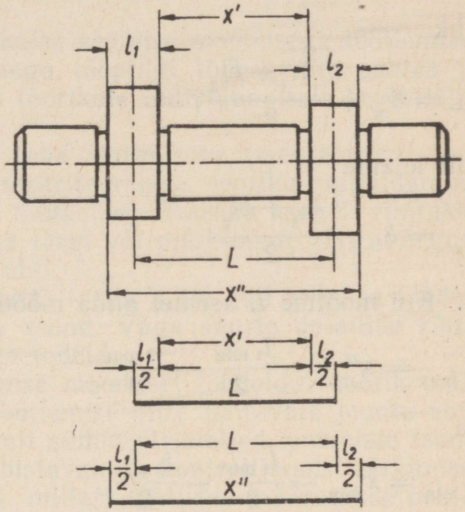
$$\text{s. o. } \varepsilon''_{l_h} < \varepsilon'_{l_h},$$

kuna

$$\delta_b + \delta_a + \delta_A < \delta_B + \delta_A + \delta_a + \delta_b.$$

Seega kahel viimasel juhul (joon. 14, e ja f) lähtamisviga vähenes mõõtme B tolerantsi võrra, s. o. suuruse δ_B võrra. Seejuures on lähtamisvea vähenemine saavutatud püsiva lähte kasutamisega kõigi kolme tasapinna töötlemisel mõõtmeteni a, b ja h.
Kui analüüsida lähtamisvigu erilaadiliste toorikute mitmesugustel töötlemisjuhtudel vahelduvate ja püsivate lähetega, tuleme järeldusele, et püsivate lähete kasutamisega saavutame lähtamisvea vähenemise.
Iga paigalduslähte vahetus tehnoloogilise protsessi täitmisel lisab uue vea, mis sõltub lähete vastastikuse asetuse ebatäpsusest.
Mitmesuguste püsiva lähtega paigalduse skeemide analüüsi alusel valitakse neist niisugune, mis kindlustab väikseima lähtamisvea ja taotletavate mõõtmete rangemad tolerantsid.

Tööjoonistel antud mõõtmed, mis tulenevad konstruktsioonilistest seostest, ei vasta sageli tehnoloogilise protsessi koostamise tingimustele ja on ebamugavad töödeldavate toorikute mõõtmiseks. Tehnoloogilistel kaalutlustel tuleb mõnikord muuta konstruktori poolt valitud mõõtelähteid. Neil juhtudel, samuti paigalduslähete vahetamisel töötlemise käigus, tuleb konstruktsiooniliste mõõtmete ja valitud lähete vaheliste seoste geomeetrilise analüüsi alusel mõõtmed ümber arvutada.



Joon. 15. Tehnoloogiliste mõõtmete tolerantside arvutamise skeem

Vaatleme näitena jaotusvõlli joonist (joon. 15). Ekspluatatsiooni jaoks on tähtis, et võlli valmistamisel peetaks kinni mõõtmetest l_1, l_2 ja L; seejuures mõõde L on antud range tolerantsiga. Tootmistingimustes ei ole mõõtme L vahetu mõõtmine võimalik. Vahetult saab mõõta kas mõõdet x' või mõõdet x''. Kui tehnoloog valib ühe neist mõõtmetest, peab ta sellele andma tolerantsi, mis tagab mõõtmele L konstruktori poolt antud tolerantsist kinnipidamise. Kui lähtuda sellest tingimusest, võib ülesande lahendada järgmiselt.

1. Kui tehnoloog otsustas mõõtme L asemel anda mõõtme x', siis

$$\delta_L = L_{max} - L_{min},$$

kus

$$L_{max} = \frac{l_{1\,max}}{2} + x'_{max} + \frac{l_{2\,max}}{2}$$

ja

$$L_{\min} = \frac{l_{1\,\min}}{2} + x'_{\min} + \frac{l_{2\,\min}}{2}.$$

Seega

$$\delta_L = \frac{\delta_{l_1}}{2} + \delta_{x'} + \frac{\delta_{l_2}}{2}.$$

ehk

$$\delta_L = \delta_{x'} + \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2};$$

siit leiame

$$\delta_{x'} = \delta_L - \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2}.$$

2. Kui mõõtme L asemel anda mõõde x'', siis

$$L_{\max} = x''_{\max} - \frac{l_{1\,\min}}{2} - \frac{l_{2\,\min}}{2}$$

ja

$$L_{\min} = x''_{\min} - \frac{l_{1\,\max}}{2} - \frac{l_{2\,\max}}{2}.$$

Seega

$$\delta_L = \delta_{x''} + \frac{\delta_{l_1}}{2} + \frac{\delta_{l_2}}{2} = \delta_{x''} + \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2};$$

siit leiame

$$\delta_{x''} = \delta_L - \frac{\delta_{l_1} + \delta_{l_2}}{2},$$

s. t. saame sama tulemuse, mis esimeselgi juhul.
Seega kui lähtume mõõtahelate põhivõrrandist, saame üldkujul

$$\delta_L = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i$$

ehk

$$\delta_L = \delta_x + \sum_{i=1}^{m-2} \delta_i,$$

millest

$$\delta_x = \delta_L - \sum_{i=1}^{m-2} \delta_i,$$

kus δ_x — otsitava mõõtme tolerants;
δ_L — asendatava mõõtme tolerants;
δ_i — ahela ülejäänud mõõtmete tolerantsid;
m — mõõtahela kõikide lülide üldarv koos otsitava ja asendatava mõõtmega.

Etteantud mõõtmete individuaalse saamise moodusega töötlemisel paigaldatakse toorik rihtimisega tööpingi tööorganite suhtes ja tööriist seatakse mõõtu igale toorikule individuaalselt prooviläbimite ja -mõõtmiste abil.

Real juhtudel paigaldatakse ilma rihtimiseta (tsentreeritud tooriku paigaldamine treipingi tsentrite vahele, tooriku paigaldamine töödeldud pinnaga freespingi töölauale). Tooriku asendit rihitakse kas vahetult töödeldava pinna järgi või märkjoonte järgi kõrgusmärkli või püstnihkmõõdiku abil.

Kasutatakse samuti joonlauda ja loodi, mille abil antakse töödeldavale pinnale horisontaalne asend. Väga suurte detailide rihtimiseks kasutatakse optilisi meetodeid.

Mõõtmete individuaalse saamise moodusel töödeldav toorik märgitakse tavaliselt eelnevalt töötlemise piire näitavate joonte abil. Selleks kantakse talle eelnevalt sümmeetriateljed, peamiste tsentrite teljed ning samuti rida abistavaid ja kontrolljooni. Märkimisel on oluline lähtepindade valik, millest lähtudes määratakse pealekantavate joonte asend. Selle juures võib kasutada kaalutlusi toorikute lähtamise kohta tööpinkides töötlemiseks.[1]

Individuaaltootmises kasutatakse märkimist toorikute töötlemiskõlblikkuse kontrollimiseks, tooriku rihtimiseks selle paigaldamisel tööpinki, töötlemispiiride tähistamiseks, pealeasetatavate konduktorite paigaldamiseks ja keerukate töödeldud detailide kontrollimiseks.

Seeriatootmises kasutatakse märkimist keerukate toorikute töötlemiskõlblikkuse kontrollimiseks, rakiste reguleerimiseks antud valandite partii jaoks, toorikute paigaldamiseks lihtsustatud rakistes ja pealeasetatavate konduktorite asendi määramiseks ning suuremõõtmeliste valandite rihtimiseks, et vältida keerukaid ja raskeid rakiseid.

Rihitava tooriku nõutav asend saavutatakse vaheliistudega, lihtsate ja paariskiiludega ning teiste universaalsete paigaldusrakistega.

[1] Märkimise praktilised võtted peab üliõpilane hästi omandama metallide tehnoloogia õppepraktikal (õppetöökodades).

Rihtimisega paigalduse täpsuse määrab kontrolli hoolikus. Täpsus sõltub töölise kvalifikatsioonist, kontrollimisel kasutatavast riistast, samuti pinna seisukorrast, mille järgi kontrollitakse. Rihtimine toimub ka peale tooriku kinnitamist, kuna kinnitusjõudude toimel võib toorik oma asendit muuta. Seetõttu loeme, et rihtimisega paigaldamise viga võrdub kontrollimisveaga ja kinnitusviga mahub kontrollimisvea välja. Rihtimisega paigaldamise viga ei arvestata, kui mõõde saadakse prooviläbimite meetodil. Viga tuleb arvestada pindade vastastikuse asendi hälvete määramisel (mitteparalleelsus, mitteperpendikulaarsus jms.), kuna need hälbed tavaliselt ei kõrvaldu ainult prooviläbimitega töötlemise mõjul.

Märkimine ja toorikute paigaldamine rihtimisega on töömahukad ja kõrge kvalifikatsiooniga töölisi nõudvad operatsioonid. Rakiste kasutamine mõõtmete automaatse saamise moodusega töötlemisel eelnevalt häälestatud tööpinkides kindlustab tooriku määratud asendi ilma rihtimiseta, vähendab mitmekordselt paigaldusele kuluvat aega ega nõua täitjatelt suuri tööstuslikke kogemusi. Selles seisnevad toorikute rakistesse paigaldamise tähelepandavad eelised. Kuid rakiste kasutamine on majanduslikult õigustatud ainult küllalt suure tootmisprogrammi puhul, individuaaltootmises aga on täiesti lubatav märkimine ja toorikute paigaldamine rihtimisega.

3. TÖÖTLEMISTÄPSUST MÕJUTAVAD TEGURID

Tehnoloogilise süsteemi elastne deformatsioon lõikejõu toimel. Mehaanilise töötlemise juures moodustavad tööpink, rakis, töödeldav toorik, lõikeriist ja seda kandvad elemendid (hoidjad, tornid, puurvõllid jms.) elastse süsteemi, mida me edaspidi nimetame tehnoloogiliseks süsteemiks tööpink-rakis-toorik-tööriist.

Töötlemisprotsessis muutub lõikejõud tooriku mõõtmete kõikumise, s. t. ebaühtlase lõikesügavuse, tooriku materjali mehaaniliste omaduste kõikumise ja lõikeserva kulumisest tingitud tööriista nürinemise mõjul.

Töötlemisel kutsub lõikejõud esile elastse süsteemi tööpink-rakis-toorik-tööriist elastse deformatsiooni ja süsteemi elementide nihkumise nende liidetes olevate lõtkude tõttu. Nende suurus sõltub nii lõikejõust kui ka süsteemi jäikusest, s. t. võimest vastu panna mõjuvale jõule. Lõikejõu ebastabiilsus ja tehnoloogilise süsteemi jäikuse muutlikkus süsteemi erinevates lõigetes kutsuvad esile süsteemi elementide deformatsioonide ja lükete ebaühtluse, mille mõjul tekivad töödeldud pinna kujuhälbed üksikutel toorikutel ja

mõõtmete kõikumised toorikute partiis. Seega sõltub töötlemise täpsus süsteemi tööpink-rakis-toorik-tööriist jäikusest.

Jäikus, nagu teada, määratakse mõjuva jõu ja selle jõu poolt esilekutsutud deformatsiooni suhtega.

Töötlemise täpsuse seisukohalt on kõige olulisem töödeldava pinna normaali sihilise lõikejõu komponendi suuruse kõikumine.

Süsteemi tööpink-rakis-toorik-tööriist jäikuse all mõistetakse suhet lõikejõu selle komponendi ja tööriista lõikeserva töödeldava pinna normaali sihis nihkumise vahel. Seega süsteemi jäikus

$$J = \frac{P_y}{y} \quad \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}\left(\frac{\mathrm{kG}}{\mathrm{mm}}\right),$$

kus P_y — lõikejõu töödeldava pinna normaali sihiline komponent N (kG);

y — jõu P_y poolt esilekutsutud süsteemi elementide lüke m (mm).

Jäikus võib olla väljendatud ka lõikejõu juurdekasvu ΔP_y suhtena lükke juurdekasvu Δy:

$$J = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}.$$

Tehnoloogilise süsteemi elastsusomadusi võib samuti iseloomustada tema järeleandlikkusega. See on jäikuse pöördväärtus, mis määratakse lükke suhtega jõusse:

$$w = \frac{y}{P_y} \quad \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{N}}\left(\frac{\mathrm{mm}}{\mathrm{kG}}\right).$$

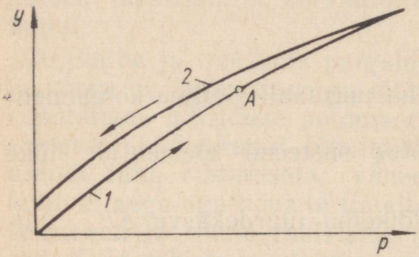
Süsteemi elemendid mitte ainult ei deformeeru, vaid samaaegselt muutub ka nende vastastikune asend lõtkude ja põkkude elastsuse tõttu (viimaste jäikust tavaliselt ei arvutata, vaid määratakse katseliselt).

Real juhtudel avaldab sõlmede jäikusele mõju ka lõikejõu komponent P_x. Seetõttu saame täpsemad tulemused, kui määrame jäikuse lõikeprotsessis, kus mõõtetulemusi mõjutavad kõik kolm lõikejõu komponenti.

Nii on näiteks lõikejõu komponentide P_y ja P_z üheaegsel mõjumisel treipingi supordi jäikus suurem kui ainult lõikejõu radiaalkomponendi P_y mõjumisel. Lõikejõu komponendi P_z mõju esi- ja tagapuki jäikusele võib olla teistsugune. Pukkide koormamisel lõikejõu komponent P_z tavaliselt vähendab jäikust.

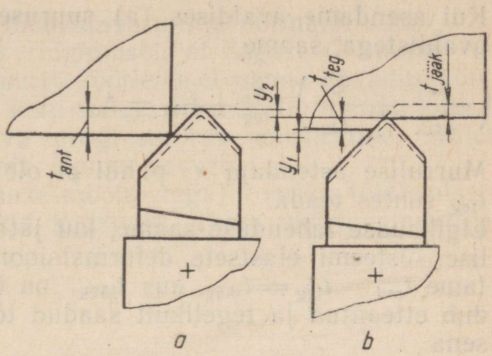
Tööpingi sõlme jäikuse määramiseks koormatakse seda astmete kaupa tõusvalt nullist kuni teatava suurima, tööpingi mõõtmetest

sõltuva väärtuseni; koormamise igal astmel mõõdetakse katsetatava sõlme lüke töödeldava pinna normaali sihis. Seejärel vabastatakse sõlm koormusest ja fikseeritakse jäävlüke. Koormamisel ja koormusest vabastamisel koostatakse sõltuvus
$y = f(P_y)$.
Seejuures ei lange jäikuse tunnusjoone koormamise ja koormusest vabastamise harud tavaliselt kokku, kuna energia hajumise tulemusena ühe koormamise ja koormusest vabastamise tsükli jooksul tekib hüsterees (joon. 16).



Joon. 16. Pingi sõlmede jäikuse mõõtmise kõvera koormamise haru *1* ja koormusest vabastamise haru *2*

Korduval mitmekordsel koormamisel ja koormusest vabastamisel muutub hüsteréesi silmus vähemärgatavaks. Tööpingi sõlmede (või teiste tehnoloogilise süsteemi elementide) elastsete lükete sõltuvus mõjuvast jõust väljendub harva sirge kujul. Tõelise jäikuse koormamise igal momendil võib leida jõu juurdekasvu ja paigutise juurdekasvu suhtena kõvera antud punktis. Tehnoloogiliste arvutuste lihtsustamiseks on otstarbekas kasutada keskmist jäikust ja võtta punkti *A* abstsiss antud pingil töötlemise protsessis tekkiva jõu keskmiseks väärtuseks.
Enamikul tehnoloogilise süsteemi elementidest määratakse jäikus katseliselt; ainult lihtsa konfiguratsiooniga toorikute (siledad võllid, liistud) ja mõnda tüüpi tööriistade jäikuse võib leida arvutuslikult. Uute tööpinkide sõlmede jäikus ulatub 20 000 ... 40 000 kN/m (2000 ... 4000 kG/mm). Üksikutel juhtudel jäikus tõuseb kuni 100 000 kN/m (10 000 kG/mm). Kulunud ja reguleerimata tööpinkide sõlmede jäikus on väiksem 10 000 kN/m (1000 kG/mm). Sõlmede jäikus on tihti eri suundades erinev.
Jäikuse suurendamisel suureneb töötlemise täpsus ja tootlikkus. Jäikuse suurenemine saavutatakse järgmiste põhiliste võtetega: 1) põkkude arvu vähendamisega tööpinkide ja rakiste konstruktsioonis; 2) pidevalt kontaktis olevate detailide põkkude eelpingestamisega poltkinnituste abil; 3) sõlmede koostamise kvaliteedi parandamisega kaaspindade hoolika sobitamise ja lõtkude reguleerimise teel; 4) tehnoloogilise süsteemi detailide jäikuse suuren-



Joon. 17. Tehnoloogilise süsteemi elementide paigutiste skeem

damisega nende kõrguse ja väljaulatuse vähendamise ja tugipinna mõõtmete suurendamise teel; 5) toorikute ja instrumentide jaoks täiendavate tugede, lünettide, juhikvõllide ja teiste elementide kasutamisega.

Töötlemise täpsuse tõstmiseks on vajalik mitte ainult suurendada jäikust, vaid ka ühtlustada seda erinevates lõigetes ja suundades. Töötlemisprotsessis rikuvad tooriku ja lõikeriista elastsed paigutused (lükked) nende suhtelise liikumise seaduspärasust, mis on määratud pingi häälestusega. Joonisel 17 on antud paigutiste skeem. Enne töötlemist häälestatakse pink etteantud lõikesügavusele t_{ant} (joon. 17, *a*). Töötlemise käigus lükkub toorik elastselt suuruse y_1 võrra ja tööriist suuruse y_2 võrra (joon. 17, *b*). Selle tõttu väheneb etteantud lõikesügavus suuruseni t_{teg}. Üksikute lõigete kohta võib kirjutada

$$y_1 + y_2 = t_{ant} - t_{teg}. \qquad (a)$$

Selles avaldises

$$y_1 = \frac{P_y}{J_{trk}}; \quad y_2 = \frac{P_y}{J_{tr}},$$

kus J_{trk} — süsteemi toorik-rakis-tööpingi sõlmede, millele kinnitatakse töötlemise ajal toorik, jäikus;

J_{tr} — süsteemi tööriist-rakis (tööriista kinnitamiseks) -tööpingi sõlmede, millele kinnitatakse tööriist, jäikus.

Lõikejõu radiaalkomponent

$$P_y = C_y s^{y_p} t_{teg}^{x_p} HB^n.$$

Tähistame korrutise $C_y s^{y_p} HB$ tähega C.

Siis

$$P_y = C t_{teg}^{x_p}.$$

Kui asendame avaldises (a) suurused y_1, ja y_2 ja P_y vastavate avaldistega, saame

$$\left(\frac{C}{J_{trk}}+\frac{C}{J_{tr}}\right) t_{teg}^{x_p}+t_{teg}=t_{ant}. \qquad (b)$$

Murrulise astendaja x_p puhul ei ole võrrandi (b) täpne lahend t_{teg} suhtes teada.
Ligikaudse lahenduse saame, kui jätame arvestamata tehnoloogilise süsteemi elastsete deformatsioonide mõju lõikejõule. Tähistame $t_{ant}-t_{teg}=t_{jääk}$, kus $t_{jääk}$ on töötlemise hälve, mis väljendub etteantud ja tegelikult saadud töötlemise piiride vahekaugusena.

Ligikaudsel lahendamisel

$$t_{jääk}=\frac{P_y}{J_{ts}}=\frac{Ct_{ant}^{x_p}}{J_{ts}}$$

kus J_{ts} — tehnoloogilise süsteemi jäikus.
Kui arvestada, et

$$\frac{1}{J_{ts}}=\frac{1}{J_{trk}}+\frac{1}{J_{tr}},$$

saame

$$t_{jääk}=Ct_{ant}^{x_p}\left(\frac{1}{J_{trk}}+\frac{1}{J_{tr}}\right). \qquad (14)$$

Selle valemi järgi teostatud arvutused annavad suurendatud tulemuse. Arvutusviga kasvab süsteemi jäikuse vähenemisel. Küllaldase jäikuse puhul on viga alla 10%.
Suurust $t_{jääk}$ loetakse detaili pinnast, mis on antud joonisega.
Kui on teada t_{ant} suurima ja vähima väärtuse vahe ehk tooriku vastava mõõtme tolerantsiväli, siis võib leida teostatava mõõtme hajumisvälja kui saadava $t_{jääk}$ suurima ja väiksema väärtuse vahe. Tähistame teostatava mõõtme hajumisvälja antud lõikes Δy.

Siis

$\Delta y = t_{jääk\ max} - t_{jääk\ min}$.

Kasutades avaldist (14) saame

$$\Delta y=C\left(t_{ant\ max}^{x_p}-t_{ant\ min}^{x_p}\right)\cdot\left(\frac{1}{J_{trk}}+\frac{1}{J_{tr}}\right). \qquad (15)$$

Jäikused J_{trk} ja J_{tr} võetakse töödeldava pinna normaali sihis. Saadud valem on kasutatav tingimusel, et teguri C suurus ei muutu. Tegelikult toorikute partii töötlemisel nende kõvadus kõigub kindlates piirides HB_{max} kuni HB_{min}. Peale selle toimub lõikeprotsessis tööriista lõikeserva progresseeruv nürinemine, mille tõttu lõikejõud tera püsivusaja lõpuks kasvab.

Seega ka üksiku (küllalt suurte mõõtmetega) tooriku töötlemisel ei saa tegurit C vaadelda kui konstanti. Tema väärtus muutub C_{max} kuni C_{min}.

$$C_{max} = C_{y\,max} s^{x_p} HB^{n}_{max};$$

$$C_{min} = C_{y\,min} s^{x_p} HB^{n}_{min}.$$

$C_{y\,min}$ määramisel tuleb orienteeruda valitud geomeetriaga, äsja teritatud tööriistaga töötamisele. $C_{y\,max}$ määramisel arvestatakse lõikejõu kasvu lubatud kõrvalekalde mõjul tera geomeetrias peale teritust. Kui arvestada öeldut, võib valemi (14) alusel kirjutada täpsema avaldise Δy määramiseks:

$$\Delta y = t_{jääk\,max} - t_{jääk\,min} = \left(C_{max} t^{x_p}_{ant\,max} - C_{min} t^{x_p}_{ant\,min} \right) \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}} \right). \qquad (16)$$

Kui pidada silmas tehnoloogilise süsteemi jäikuse ebastabiilsust, siis tuleb suurus Δy määrata nende lõigete järgi, kus jäikus on minimaalne.

Kui väljendada J_{trk} (mõnedel erijuhtudel J_{tr}) funktsioonina tooriku mõõtmetest, siis võib arvutada töödeldava pinna kujuhälbe tehnoloogilise süsteemi jäikuse erinevuse mõjul tooriku eri osades.

Kui loeme üksiku tooriku töötlemisel suurused t_{ant} ja C konstantseteks, aga väärtuse poolest maksimaalseteks, saame töödeldava pinna suurima kujuhälbe.

$$\Delta k = t_{jääk\,max} - t_{jääk\,min} = C_{max} t^{x_p}_{ant\,max} \left[\left(\frac{1}{J_{trk\,min}} + \frac{1}{J_{tr\,min}} \right) - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{1}{J_{trk\,max}} + \frac{1}{J_{tr\,max}} \right) \right]. \qquad (17)$$

Elastse tehnoloogilise süsteemi puhul ei saa eelneval tehnoloogilisel siirdel tekkinud hälbeid täielikult kõrvaldada teoksil oleva siirdega. Tehnoloogilise süsteemi jäikuse suurenemisel tema elementide elastsed lükked vähenevad, põhjustades töödeldava tooriku jääkhälvete vähenemist. Üksikute toorikute töötlemisel vähe-

nevad kujuhälbe kõik liigid ja pindade vastastikuse asendi hälbed.

Tehnoloogilise süsteemi muutumatu jäikuse puhul töödeldava tooriku eri lõigetes ja lõikesügavuse ühega võrduva astendaja puhul kopeeritakse vähendatult tooriku esmased hälbed. Kui näiteks tooriku pind on moondunud kujuga, siis peale töötlemist on see moonutus vähenenud, aga pinna kuju jääb esialgsega sarnaseks. Oletame, et toorikul, millest ühe läbimiga töödeldakse silindriline detail pikkusega l, on kujuhälve koonilisuse näol. Selle koonilisuse suurus

$$i_{trk} = 2\,\frac{t_{ant\ max} - t_{ant\ min}}{l}.$$

Peale töötlemist on detailil muutliku lõikesügavuse tõttu tehnoloogilise süsteemi pidevalt muutuva lükke mõjul tekkinud jääkkoonilisus

$$i_{det} = 2\,\frac{t_{jääk\ max} - t_{jääk\ min}}{l}.$$

Tooriku lähte- ja töödeldava pinna vastastikuse asendi hälbe olemasolul leiab samuti aset esmase hälbe kopeerimise nähtus. Vaatleme näitena tooriku otspinna töötlemist, mille tasapind ei ole perpendikulaarne pöörlemisteljega. Peale ühe läbimiga töötlemist jääb otspind tasapinnaliseks, aga tema viidakuse nurk on vähenenud. Otspinna tasapinnalisuse säilimine antud juhul on tingitud sellest, et tema igas piirkonnas on jääklõikesügavus võrdeline töötlemisvaru suurusega samas piirkonnas. Kui otsviskumine enne töötlemist võrdub $t_{ant\ max} - t_{ant\ min}$, siis peale töötlemist on ta võrdne $t_{jääk\ max} - t_{jääk\ min}$.

Tehnoloogilise süsteemi muutliku jäikuse korral olukord muutub. Geomeetriliselt õige pinna kujuga ja ühtlase töötlemisvaruga tooriku töötlemisel ei jää $t_{jääk}$ suurus stabiilseks tehnoloogilise süsteemi jäikuse pideva muutumise tõttu tooriku eri piirkondades. Sel juhul moondub töödeldava pinna kuju. Tooriku kujuhälvete olemasolul ja lõikesügavuse murrulise astendaja puhul tüsistub nähtus veelgi ja töödeldud pind võib saada täiendava kujuhälbe.

Vaatamata sellele võib tehnoloogilise süsteemi küllalt suure jäikuse korral töödeldud detaili hälbeid tunduvalt vähendada kasutatud tooriku hälvetega võrreldes. Kuna nimetatud asjaolud on üldise iseloomuga, siis tuleb rääkida mitte kopeerimise nähtustest, vaid esmaste hälvete järjestikusest vähendamisest töötlemise protsessis.

Hälvete vähenemise teguri k_y võib määrata nii üksikutele mõõtme-

tele detaili ettenähtud lõikes kui ka kogu detaili pinnale tervikuna. Tema suurus määratakse üldkujul suhtega

$$k_y = \frac{\Delta_{det}}{\Delta_{trk}}, \tag{18}$$

kus Δ_{det} — töödeldud detaili hälve;
Δ_{trk} — kasutatud tooriku hälve.

Leiame selle teguri väärtuse mõõtmele etteantud lõikes toorikute partii töötlemise juures.

$\Delta_{trk} = t_{ant\ max} - t_{ant\ min}$;

$\Delta_{det} = t_{jääk\ max} - t_{jääk\ min} =$

$$= C_{max}\left(t^{x_p}_{ant\ max} - t^{x_p}_{ant\ min}\right)\left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}}\right);$$

$$k_y = C_{max}\frac{t^{x_p}_{ant\ max} - t^{x_p}_{ant\ min}}{t_{ant\ max} - t_{ant\ min}}\left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}}\right). \tag{19}$$

Teise näitena leiame selle teguri treitava kaela kujuhälbe vähenemise iseloomustamiseks tehnoloogilise süsteemi muutliku jäikuse korral:

$$k_y = \frac{\Delta_{k\ det}}{\Delta_{k\ trk}}, \tag{20}$$

kus $\Delta_{k\ det}$ — treitud kaela kujuhälve;
$\Delta_{k\ trk}$ — tooriku kaela kujuhälve;
$\Delta_{k\ trk} = 2(t_{ant\ max} - t_{ant\ min})$;
$\Delta_{k\ det} = 2(t_{jääk\ max} - t_{jääk\ min})$.

Suurused $t_{jääk\ max}$ ja $t_{jääk\ min}$ võib leida valemist

$$t_{jääk} = Ct^{x_p}_{ant}\left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}}\right),$$

kui eelnevalt on arvutatud eri lõigete jaoks korrutise

$$t^{x_p}_{ant}\left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}}\right)$$

suurim ja väikseim väärtus.
Analoogilisel viisil võib leida selle teguri ka detaili pindade vastastikuse asendi hälbe vähenemise iseloomustamiseks.

Mitme läbimiga töötlemisel on hälvete vähenemise üldine tegur

$$k_{0y} = k_{1y}k_{2y} \ldots k_{ny}, \qquad (21)$$

kus n — läbimite arv.

Hälvete vähenemise tegur on alati väiksem kui üks. Seetõttu osutub k_{oy} suure arvu läbimite puhul väga väikeseks.

Valemite (16), (17) ja (19) alusel võime määrata mehaanilisel töötlemisel tekkivad mõõtmete, kuju ja pindade vastastikuse asendi hälbed. Nende valemite analüüs lubab teha järgmisi järeldusi.

Toorikute partii töötlemisel eelnevalt häälestatud tööpingis suureneb taotletavate mõõtmete täpsus (mida võib iseloomustada nende mõõtmete hajumisväljaga): tehnoloogilise süsteemi jäikuse suurenemisel, s. o. liikme $\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}}$ vähenemisel valemis (16); kasutatavate toorikute täpsuse suurenemisel, s. o. $t_{ant\,max}$ ja $t_{ant\,min}$ vahe vähenemisel; töödeldava materjali mehaaniliste omaduste ühtlikkuse ja teostatava töötlemise tingimuste stabiilsuse suurenemisel, s. o. suuruste C_{max} ja C_{min} vahe vähenemisel.

Üksiku tooriku töötlemisel eelnevalt häälestatud tööpingis või mõõtmete individuaalse saamise meetodil võib tekkivat töödeldava pinna kujuhälvet vähendada tehnoloogilise süsteemi jäikuse ühtlustamisega, s. o. valemis (17) nurksulgudes oleva liikme vähendamisega, mahavõetava töötlemisvaru, s. o. lõikesügavuse $t_{ant\,max}$ vähendamisega (seda saavutatakse eriti mitme läbimiga töötlemisel) ja samuti lõikejõu vähendamisega lõikeriista geomeetria ja terituse parandamise ning üksikutel juhtudel ka ettenihke vähendamise abil [liige C_{max} valemis (17)]. Kui arvestada kopeerimise nähtust, tuleb ka toorikul tõsta töödeldava pinna kuju täpsust.

Detaili pindade vastastikuse asendi hälvete vähendamiseks tuleb, nagu nähtub valemist (19), suurendada tehnoloogilise süsteemi jäikust, suurendada tooriku täpsust, mille tulemusena väheneb vahe $t^{xp}_{ant\,max} - t^{xp}_{ant\,min}$, ja samuti võtta tarvitusele ülalnimetatud abinõud lõikejõu vähendamiseks.

Detaili töödeldavate pindade kuju ja vastastikuse asendi hälvete vähenemise võib saavutada ka teistsuguste tehnoloogiliste võtetega. Kujuhälvet võib näiteks vähendada, kui töödelda pidevalt muutuva ettenihkega. Vastavalt lõikeriista lähenemisele suurima jäikusega piirkonnale suurendatakse ettenihet. Selle tulemusena võib saada muutumatu $t_{jääk}$ suuruse kogu töödeldaval pinnal. Ettenihe peab teekonna funktsioonina muutuma niisuguse seaduspärasuse järgi, et elastsed lükked (muutumatu töötlemisvaru juures) oleksid konstantsed. Vaatleme sileda võlli treimist, mis on konsoolselt kinnitatud padrunisse. Tehnoloogilise süsteemi väik-

seim jäikus on tooriku vaba otsa kohal olevas lõikes ja suurim — tooriku kinnituslõikes padrunipakkide vahel. Treimisel muutumatu ettenihkega moondub tooriku pind pidevalt muutuva $t_{jääk}$ tõttu. Silindri asemel saadakse pöördpind suurema läbimõõduga vabal otsal. Kogu tooriku pikkusel muutumatu, varem kindlaksmääratud $t_{jääk}$ väärtuse saamiseks peab ettenihe olema muutuv. Ettenihke piki toorikut muutumise seaduspärasuse võib leida avaldisest

$$t_{jääk} = \frac{P_y l^3}{3EI} = \frac{C_y t_{ant}^{x_p} s^{y_p} l^3 HB^n}{3EI} = \text{const.}$$

Kui jätta arvestamata sõlme spindel-padrun elastne lüke, siis võib esimeses lähenduses pikkust l mõõta tooriku kinnituskohast. Sellisel tingimusel peab ettenihe muutuma seaduse järgi

$$s = \sqrt[y_p]{\frac{3EIt_{jääk}}{C_y t_{ant}^{x_p} l^3 HB^n}}. \qquad (22)$$

Töötlemine muutuva ettenihkega mitte ainult ei vähenda pinna kujuhälvet, vaid lühendab ka selle töötlemise aega. Tööpingis võib ettenihet etteantud seaduspärasuse järgi pidevalt muuta hüdrauliliste, mehaaniliste ja muude seadistega.

Sageli võib tooriku pindade vastastikuse asendi hälvet tehnoloogilise süsteemi elementide elastseist lükkeist vähendada või täielikult kõrvaldada nende elementide lähteasendi korrigeerimisega. Vertikaalpuurpingi töölaua ja spindlisõlme mitteküllaldase jäikuse korral osutub puuritud ava telg mitteperpendikulaarseks tooriku lähtetasapinnaga. Selle hälbe võib kõrvaldada rakise paigaldus-elementide asetuse korrigeerimisega. Selle tahtlikult tekitatud hälbe suurus peab olema selline, et ta kompenseeritaks tehnoloogilise süsteemi elastsete deformatsioonidega.

Vaatleme tehnoloogilise süsteemi elementide elastsetest lüketest tingitud töötlemishälvete määramise näiteid.

Näide 1. Määrata läbimõõtude hajumise piirid terasest seibide partiile, mida treitakse eelnevalt häälestatud tööpingis. Seibide toorikud kinnitatakse konsoolsele tornile. Sõlme spindel-torn-toorik jäikus $J_{trk} = 5000$ kN/m (500 kG/mm). Sõlme suport-tera jäikus $J_{tr} = 8000$ kN/m (800 kG/mm); $t_{ant\,max} = 4$ mm; $t_{ant\,min} = 2{,}5$ mm; $C_{max} = 130$; $C_{min} = 100$. Lõikesügavuse astendaja $x_p = 0{,}9$. Seibide partii radiaalmõõtmete hajumise piirid peale treimist leiame valemi (16) abil. Kui asendame tuntud suurused, saame:

$$\Delta y = (130 \cdot 4^{0{,}9} - 100 \cdot 2{,}5^{0{,}9}) \left(\frac{1}{500} + \frac{1}{800}\right) = 0{,}78 \text{ mm}.$$

Läbimõõtude hajumise piirid seibidel peale treimist võrduvad kahekordse Δy väärtusega, s. o. 1,56 mm.

Näide 2. Määrata treipingi tsentrite vahel treitava sileda terasest võlli kujuhälve. Võlli läbimõõt on 30 mm. Võlli pikkus on 300 mm. Võlli materjali elastsusmoodul $E = 200$ GN/m² ($2 \cdot 10^6$ kG/cm²). Tagapuki sõlme jäikus $J_{tp} = 15\,000$ kN/m (1500 kG/mm). Esipuki sõlme jäikus $J_{ep} = 15\,000$ kN/m (1500 kG/mm). Supordi jäikus $J_{sup} = 10\,000$ kN/m (1000 kG/mm). Etteantud lõikesügavus $t_{ant} = 4$ mm; $C_{max} = 120$; $x_p = 0{,}9$.

Detaili väikese jäikuse korral saadakse töödeldud pind moonutatult, tünnikujulisena. Kui arvestada mõlema puki ühesugust jäikust, võib treitava pinna kujuhälbe määrata kahe lõike järgi: tagapuki juures ja sildeava keskel. Kujuhälbe leiame, kui arvutame ümberjoonestatud ja sissejoonestatud silindri läbimõõtude vahe või kahekordistame valemi (17) järgi arvutatud tulemuse. Tagapuki juures olevas lõikes $J_{trk\,max} = 15\,000$ kN/m (1500 kG/mm) sildeava keskel on tooriku paigalduse jäikus suurem, kuna lõikejõu radiaalkomponent võetakse vastu kahe toe poolt.

Koos sellega tuleb arvestada tooriku omaenda jäikust, mis selles lõikes võrdub $\frac{48EI}{l^3}$, kus $I = \frac{\pi}{64} 30^4$ 40 000 mm⁴. Öeldu alusel on

$$\frac{1}{J_{trk\,min}} = \frac{1}{2J_{tp}} + \frac{l^3}{48EI} = \frac{1}{2 \cdot 1500} + \frac{300^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 4000} = 10{,}3 \frac{\text{m}}{\text{N}} \left(0{,}00103 \frac{\text{mm}}{\text{kG}} \right).$$

Asendades leitud suurused valemis (17), saame:

$$\Delta_k = 120 \cdot 4^{0{,}9} \left[\left(0{,}00103 + \frac{1}{1000} \right) - \left(\frac{1}{1500} + \frac{1}{1000} \right) \right] = 0{,}157 \text{ mm}.$$

Otsitav kujuhälve võrdub $2 \cdot 0{,}157 = 0{,}314$ mm.

Näide 3. Leida nihutatud kaela ekstsentrilisuse vähenemine selle ühekordsel treimisel. Tooriku ekstsentrilisus $e_{trk} = 1$ mm; $J_{trk} = 20\,000$ kN/m (2000 kG/mm); $J_{tr} = 10\,000$ kN/m (1000 kG/mm); $C = 120$; $x_p = 1$; $t_{ant\,max} = 5$ mm.

Ekstsentriliselt asetatud pinna treimisel väikseim lõikesügavus

$$t_{ant\,min} = t_{ant\,max} - 2e_{trk} = 5 - 2 \cdot 1 = 3 \text{ mm}.$$

Määrame $t_{jääk\,max}$ ja $t_{jääk\,min}$ väärtuse valemi (14) abil:

$$t_{jääk\,max} = C t^{x_p}_{ant\,max} \left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}} \right) = 120 \cdot 5 \left(\frac{1}{2000} + \frac{1}{1000} \right) 0{,}9 \text{ mm};$$

$$t_{jääk\,min} = C t^{x_p}_{ant\,min} \left(\frac{1}{J_{trk}} + \frac{1}{J_{tr}} \right) = 120 \cdot 3 \left(\frac{1}{2000} + \frac{1}{1000} \right) = 0{,}54 \text{ mm};$$

Detaili pinna ekstsentrilisus peale treimist

$$e_{det} = \frac{t_{jääk\,max} - t_{jääk\,min}}{2} = \frac{0{,}9 - 0{,}54}{2} = 0{,}18 \text{ mm}.$$

Ekstsentrilisuse vähenemise tegur

$$k_y = \frac{e_{det}}{e_{trk}} = \frac{0{,}18}{1} = 0{,}18.$$

Üldise sõltuvuse (14) alusel võime saada arvutusvalemid mitmesuguste ühe teraga töötlemise juhtude jaoks. Nende valemite väljatoomisel tuleb üldistatud suurused $\frac{1}{J_{trk}}+\frac{1}{J_{tr}}$ väljendada antud tehnoloogilise süsteemi elementide jäikuste konkreetsete väärtuste kaudu.

Vaatleme näitena sileda võlli töötlemist treipingi tsentrite vahel. Töödeldava tooriku iga ristlõike jaoks võib kirjutada võrrandi

$t_{jääk} = t_{ant} - t_{teg} = y_1 + y_2 + y_3$,

kus y_1 — esi- ja tagapuki elastsetest lüketest tingitud tooriku nihkumine;
y_2 — tooriku läbipaine jõu P_y rakenduskohal;
y_3 — supordi elastne lüke.

Analoogia alusel jäiga talaga kahel elastsel toel saame

$$y_1 = \left(1-\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{J_{ep}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{J_{tp}},$$

kus J_{ep} — esipuki jäikus;
J_{tp} — tagapuki jäikus;
l — tooriku pikkus;
x — vaadeldava lõike kaugus esitsentrist;

$$y_2 = \frac{P_y}{3EI}\,\frac{x^2(l-x)^2}{l};$$

$$y_3 = \frac{P_y}{J_{sup}}.$$

Kui võtta arvesse, et $P_y = Ct_{ant}^{x_p}$, saame lõplikult

$$t_{jääk} = Ct_{ant}^{x_p}\left[\frac{\left(1-\frac{x}{l}\right)^2}{J_{ep}} + \frac{\left(\frac{x}{l}\right)^2}{J_{tp}} + \frac{x^2(l-x)}{3EIl} + \frac{1}{J_{sup}}\right]. \quad (23)$$

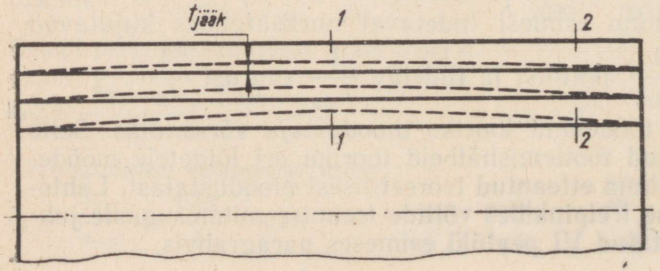
Saadud valemi kolm esimest liidetavat nurksulgudes kujutavad endast suuruse $\frac{1}{J_{trk}}$ avaldist ja liidetav $\frac{1}{J_{sup}}$ suurust $\frac{1}{J_{tr}}$.

Avaldis (23) on töödeldud tooriku moodustaja võrrandiks. Selle võrrandi abil leitud töötlemishälbeid tooriku eri lõigetele mõõdetakse töödeldud pinna etteantud teoreetilisest moodustajast. Lähtevalemi kasutamine treipinkides võllide treimise mitmesuguste juhtude jaoks on esitatud VI peatüki esimeses paragrahvis.

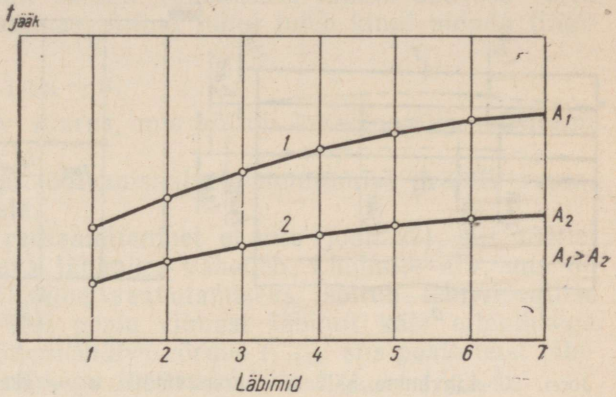
Vaatleme näitena võllide töötlemist ümarlihvpinkides. Sellel on tehnoloogilise süsteemi deformatsiooni seisukohalt palju ühist pikitreimisega tsentrite vahel. Pikiettenihkega lihvimisel, kui puuduvad ristettenihkega lõppläbimid, võib pikkade ebajäikade toorikute juures märgata keskosa jämendumist (tünnikujulisust).
Kui käia laius on väike, siis rakendatakse tema radiaalsuunaline surve toorikule väikese pinna kaudu. Töötlemishälvete määramiseks tuleb nagu treimiselgi võtta arvesse esi- ja tagapuki jäikus ning tooriku jäikus. Supordi jäikuse asemel tuleb arvutuses kasutada käia spindlipuki sõlme jäikust. Kui mitte arvestada kontaktideformatsioone töölaua ja sängi põkkudes, mis kaaspindade suurte mõõtmete puhul on väikesed, siis võib ühe läbimiga lihvitud tooriku moodustaja võrrandi esitada järgmise avaldisena:

$$t_{\text{jääk}} = C t_{\text{ant}}^{x_p} \left[\frac{\left(1 - \frac{x}{l}\right)^2}{J_{\text{ep}}} + \frac{\left(\frac{x}{l}\right)^2}{J_{\text{tp}}} + \frac{x^2(l-x)}{3EIl} + \frac{1}{J_{\text{sp}}} \right], \quad (24)$$

kus J_{sp} — käia spindlisõlme jäikus.
Mitme läbimiga lihvides võime teatavatel tingimustel saavutada hälvete järkjärgulise vähenemise iga läbimi järel.
Joonisel 18 on skemaatiliselt näidatud eri läbimitele vastavad metallikihid käia muutumatu ettenihke korral sügavuse suunas. Täisjooned märgivad mahavõetavate metallikihtide piire absoluutselt jäiga tehnoloogilise süsteemi puhul. Punktiirjoontega on näidatud tooriku faktilised profiilid peale üksikuid läbimeid. Kui vaadelda tooriku mingisugust ristlõiget (*1—1* või *2—2*), siis on näha, et iga järgmise läbimi puhul töötlemishälve $t_{\text{jääk}}$ suureneb. See hälbe kasv on suurem seal, kus tehnoloogilise süsteemi jäikus on väiksem. Hälvete kuhjumine on tingitud sellest, et igal järgmisel läbimil kasvab etteantud lõikesügavus süstemaatiliselt suureneva töötlemishälbe $t_{\text{jääk}}$ võrra.
Lõikesügavuse astendaja on paljudel juhtudel lähedane ühele. Kui



Joon. 18. Metalli eemaldamise skeem järjestikuste läbimite korral



Joon. 19. Hälvete kasvu graafik

loeme $x_p = 1$ ja tähistame valemis (24) teguri C ning nurksulgudes oleva liikme korrutise tähega A $(A < 1)$, siis:
hälve peale esimest läbimit

$$t_{1\,jääk} = t_{ant} A;$$

hälve peale teist läbimit

$$t_{2\,jääk} = (t_{ant} + t_{1\,jääk}) A = t_{ant} (A + A^2);$$

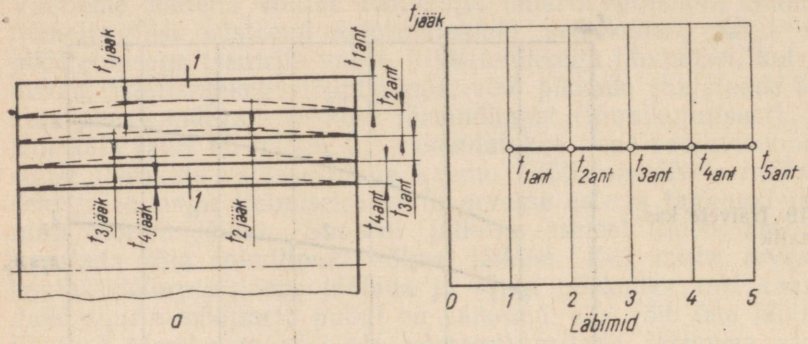
hälve peale n-ndat läbimit

$$t_{n\,jääk} = (t_{ant} + t_{n-1\,jääk}) A = t_{ant} (A + A^2 + \ldots + A^n) =$$

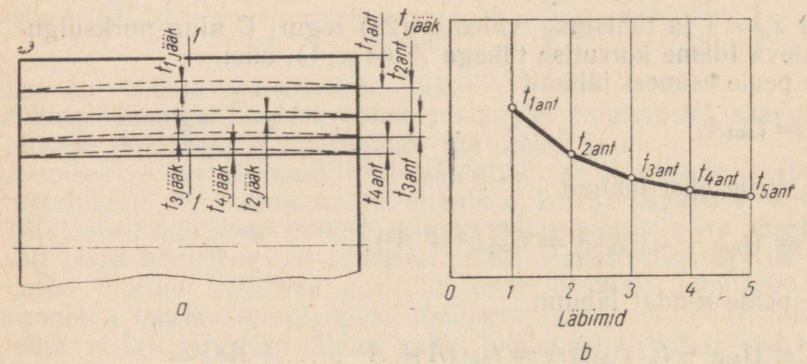
$$= t_{ant} \frac{A(A^n - 1)}{A - 1}. \qquad (25)$$

Joonisel 19 on toodud hälvete kasvu graafik iga järgneva läbimi järel. Kõver *1* iseloomustab hälvete kasvu väiksema ja kõver *2* suurema jäikusega süsteemi puhul. Teataval määral soodustab hälvete kasvu tooriku jäikuse progresseeruv kahanemine töötlemisel.
Et töötlemishälve igal järgmisel läbimil ei suureneks, tuleb kinni pidada järgmistest tingimustest (joon. 20).
Kui esimesel läbimil ettenihe sügavuse suunas on $t_{1\,ant}$, siis sellele vastav töötlemishälve

$$t_{1\,jääk} = t_{1\,ant} A.$$



Joon. 20. Lihvimine hälbeid suurendamata: *a* — skeem; $t_{1\ ant} > t_{2\ ant}$; $t_{2\ ant} = t_{3\ ant} = \ldots = t_{n\ ant}$; $t_{1\ jääk} = t_{2\ jääk} = \ldots = t_{n\ jääk}$; *b* — graafik



Joon. 21. Lihvimine hälvete järjestikuse vähendamisega: *a* — skeem; $t_{1\ ant} > t_{2\ ant} > t_{3\ ant} \ldots$; $t_{1\ jääk} > t_{2\ jääk} > t_{3\ jääk} \ldots$; *b* — graafik

Et töötlemishälve teisel läbimil $t_{2\ jääk}$ ei ületaks $t_{1\ jääk}$, tuleb käia ettenihe sügavuse suunas võtta

$$t_{2\ ant} = t_{1\ ant} - t_{1\ jääk}.$$

Kolmandal läbimil

$$t_{3\ ant} = t_{1\ ant} - t_{2\ jääk} = t_{1\ ant} - t_{1\ jääk}$$ jne.

Seega peab käia ettenihe sügavuse suunas olema kõigil järgnevatel läbimitel (alates teisest) muutumatu, kuid suuruse $t_{1\ jääk}$ võrra väiksem kui esimesel läbimil. Joonisel 20, *b* on toodud vastav töötlemishälvete graafik.

Kui soovitakse töötlemishälvete järkjärgulist vähenemist, siis peab

igal järgneval läbimil samuti vähendama kindla suuruse võrra ettenihet sügavuse suunas. Antud juhul tuleb kinni pidada tingimusest

$$t_{n\,\text{ant}} = t_{n-1\,\text{ant}} - t_{n-1\,\text{jääk}} - a,$$

kus a — mingi jääv suurus, mis sõltub tehnoloogilise süsteemi jäikusest.

Joonisel 21 on antud töötlemishälvete muutumise graafik vastavalt toodud avaldisele.

Kui lihvimise lõpul radiaalettenihet ei anta (joon. 22), siis töötlemishälve iga järgneva läbimiga väheneb. Läbimite arv, mis on vajalik lubatud jääkhälbe saavutamiseks, sõltub tehnoloogilise süsteemi jäikusest. Kui peale viimast läbimit käia ettenihkega sügavuse suunas töötlemishälve võrdus $t_{1\,\text{jääk}}$, siis peale teist läbimit väljalülitud ettenihkega töötlemishälve $t_{2\,\text{jääk}} = t_{1\,\text{jääk}}A$.

Peale kolmandat läbimit töötlemishälve

$$t_{3\,\text{jääk}} = t_{2\,\text{jääk}}A = t_{1\,\text{jääk}}A^2.$$

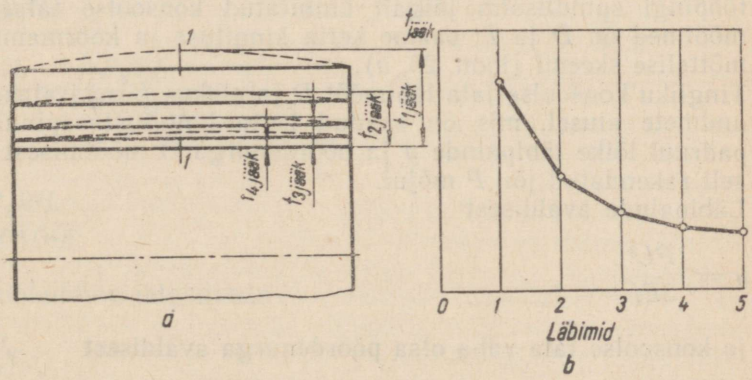
Peale n-ndat läbimit

$$t_{n\,\text{jääk}} = t_{1\,\text{jääk}}A^{n-1}.$$

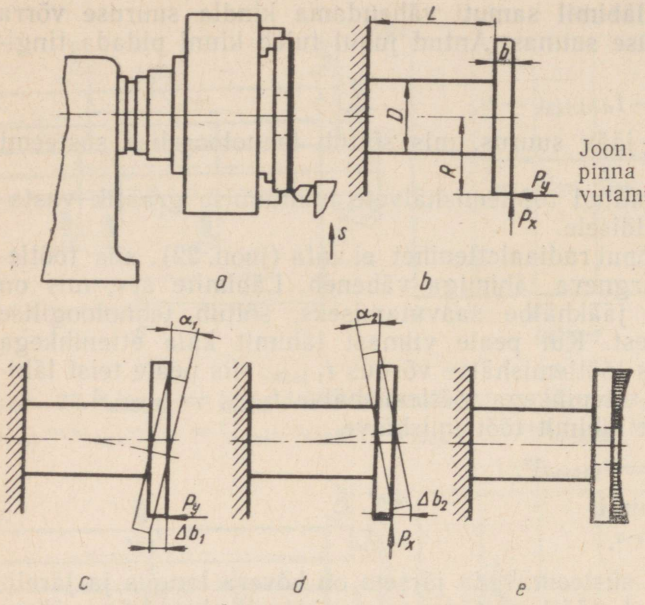
Mida jäigem on süsteem, seda järsem on kõvera langus ja järelikult on etteantud töötlemistäpsuse saavutamiseks vaja vähem läbimeid.

Kui logaritmida avaldis $t_{n\,\text{jääk}}$, võib leida läbimite arvu, mis on vajalik etteantud töötlemistäpsuse saavutamiseks:

$$n = \frac{\lg t_{n\,\text{jääk}} - \lg t_{1\,\text{jääk}}}{\lg A} + 1. \qquad (26)$$



Joon. 22. Lihvimine radiaalettenihketa lõppläbimitega: a — skeem; $t_{1\,\text{jääk}} > t_{2\,\text{jääk}} > t_{3\,\text{jääk}} \ldots$; b — graafik



Joon. 23. Jäiga ketta otspinna töötlemishälbe arvutamise skeem

Toodud näidetes võeti arvesse ainult lõikejõu komponendi P_y toime. Mõnel juhul tuleb arvestada ka komponendi P_x mõju.

Vaatleme jäiga ketta otspinna padrunis treimise juhtu (joon. 23, *a*). Koos töödeldava pinna raadiuse muutumisega muutub elastne lüke; see põhjustab treitava tasapinna moondumist. Kui vahetada tööpingi spindlisõlm jäigalt kinnitatud konsoolse talaga, mille mõõtmed on D ja L, saame ketta kinnituse ja koormamise põhimõttelise skeemi (joon. 23, *b*).

Tingliku konsoolse tala läbimõõt D ja pikkus L määratakse katseandmete alusel, mis on saadud ketta kinnitustasapinnas oleva padruni lõike läbipainde y ja pöördenurga Θ mõõtmisest radiaalselt rakendatud jõu P mõjul.

Läbipainde avaldisest

$$y = \frac{PL^3}{3EI} \qquad \text{(a)}$$

ja konsoolse tala vaba otsa pöördenurga avaldisest

$$\Theta = \frac{PL^2}{2EI} \qquad \text{(b)}$$

määrame konsooli pikkuse L, jagades võrrandi (a) võrrandiga (b):

$$L = 1{,}5\frac{y}{\Theta}.$$

Kui paneme L väärtuse võrrandisse (b), leiame:

$$I = 1{,}125\frac{P}{E}\frac{y^2}{\Theta^3}.$$

Kui võtame

$$I = \frac{\pi}{64}D^4,$$

saame konsooli läbimõõdu:

$$D = 2{,}19\sqrt[4]{\frac{P}{E}\frac{y^2}{\Theta^3}}$$

Suuruse E võib toodud arvutustes ette anda meelevaldselt, kui muuta vastavalt D väärtust. Arvutuste lihtsustamiseks võib suuruse E valida võrdseks töödeldava tooriku materjali elastsusmooduliga.

Joonisel 23, *c* on antud tooriku elastse nihkumise skeem jõu P_y mõjul. Täisjoonega on näidatud tooriku kontuur esialgses asendis, punktiiriga — elastselt lükatud olukorras. Ketta mõõtme *b* suurenemine etteantud raadiusel

$\Delta b_1 \approx R \operatorname{tg} \alpha_1$,

kus

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{ML}{EI} = \frac{P_y RL}{0{,}05D^4E};$$

seega

$$\Delta b_1 = \frac{P_y R^2 L}{0{,}05D^4E}.$$

Tooriku nihkumine telgsuunas

$$\Delta b' = \frac{P_y}{J'_{ep}},$$

kus J'_{ep} — spindli sõlme jäikus telgsuunas.

Joonisel 23, *d* on antud tooriku nihkumise skeem jõu P_x mõjul. Analoogiliselt eelmise juhuga on ketta paksuse vastav muutus $\Delta b_2 = R \operatorname{tg} \alpha_2$,
aga

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{P_x L^2}{2EI} = \frac{P_x L^2}{0{,}1 D^4 E},$$

seega

$$b_2 = \frac{P_x L^2 R}{0{,}1 D^4 E}.$$

Resulteeriva töötlemishälbe võib väljendada võrrandiga
$t_{jääk} = \Delta b_1 + \Delta b' - \Delta b_2 + y'$,
kus

$$y' = \frac{P_y}{J_{sup}}.$$

Kui P_x asendada kP_y-iga ja panna kirjutatud võrrandi paremasse poolde seal asuvate suuruste avaldised, saame

$$t_{jääk} = C t_{ant}^{x_p} \left(\frac{R^2 L}{0{,}05 D^4 E} + \frac{1}{J'_{ep}} - \frac{kRL^2}{0{,}1 D^4 E} + \frac{1}{J_{sup}} \right). \qquad (27)$$

Treitava otspinna kujuhälve

$$\Delta_k = t_{1\,jääk} - t_{2jääk},$$

kus suurused $t_{1\,jääk}$ ja $t_{2\,jääk}$ arvutatakse valemiga (27) töödeldava pinna raadiuse R piirsuuruste järgi.
Joonisel 23, *e* on skemaatiliselt näidatud ketta treitud pinna moonutus.
Valemist (27) nähtub, et lõikejõu komponent P_x vähendab töödeldava pinna kujuhälvet.
Mitme teraga tehnoloogiliste siirete paralleelse kontsentreerimise printsiibil töötlemisel tuleb hälbed arvutada tooriku üksikute töödeldavate piirkondade (pindade) kaupa. Iga piirkonna kujuhälbe võib leida tegelike lõikesügavuste arvutamisega eri lõigetes. Seosed tegelike lõikesügavuste (t_{teg}) arvutamiseks, mis on saadud tingimusest, et lõikejõud on rakendatud punktides, omavad järgmise kuju:

esimese piirkonna jaoks

$$t_{1\,\text{ant}} = t_{1\,\text{teg}}\left(1+\frac{C}{J_{1\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{1\,\text{tr}}}\right)+t_{2\,\text{teg}}\left(\frac{C}{J_{2\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{2\,\text{tr}}}\right)+$$

$$+\ldots+t_{n\,\text{teg}}\left(\frac{C}{J_{n\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{n\,\text{tr}}}\right);$$

teise piirkonna jaoks

$$t_{2\,\text{ant}} = t_{1\,\text{teg}}\left(\frac{C}{J_{1\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{1\,\text{tr}}}\right)+t_{2\,\text{teg}}\left(1+\frac{C}{J_{2\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{2\,\text{tr}}}\right)+$$

$$+\ldots+t_{n\,\text{teg}}\left(\frac{C}{J_{n\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{n\,\text{tr}}}\right);$$

n-nda piirkonna jaoks

$$t_{n\,\text{ant}} = t_{1\,\text{teg}}\left(\frac{C}{J_{1\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{1\,\text{tr}}}\right)+t_{2\,\text{teg}}\left(\frac{C}{J_{2\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{2\,\text{tr}}}\right)+$$

$$+\ldots+t_{n\,\text{teg}}\left(1+\frac{C}{J_{n\,\text{trk}}}+\frac{C}{J_{n\,\text{tr}}}\right).$$

Toodud võrrandites on suuruste tähendus sama, mis põhivõrrandis ühe teraga töötlemise kohta. Indeksid 1, 2, ..., n iseloomustavad nende väärtust lõigete jaoks, kus antud hetkel asetsevad lõikeriistad. Kui on teada $t_{1\,\text{ant}}$, $t_{2\,\text{ant}}$, ..., $t_{n\,\text{ant}}$ väärtus, võib nende n võrrandi lahendamisel leida suurused $t_{1\,\text{teg}}$, $t_{2\,\text{teg}}$, ..., $t_{n\,\text{teg}}$.
Kui kirjutada ja lahendada analoogilised võrrandite süsteemid lõikeriistade ploki järgmiste asendite jaoks tooriku suhtes, võib saada uued väärtuste $t'_{1\,\text{teg}}$, $t'_{2\,\text{teg}}$, ..., $t'_{n\,\text{teg}}$; $t''_{1\,\text{teg}}$, $t''_{2\,\text{teg}}$, ..., ..., $t''_{n\,\text{teg}}$ jne. read.
t_{teg} muutumise piirid antud piirkonnas iseloomustavad selles piirkonnas tekkivat kujuhälvet.
Põhiline raskus antud meetodi kasutamisel seisneb jäikuste J_{trk} ja J_{tr} määramises tooriku üksteisele järgnevate lõigete reale. Allpool on toodud näitena jäiga võlli mitme teraga treimise hälvete ligikaudse määramise käik.
Mitme teraga treimise häälestuste skeemide vaatlemisel võib eristada kahte põhilist juhtu. Esimesel kõik pikitrei- ja otsaterad alustavad ja lõpetavad üheaegselt töö. Teisel, üldisemal juhul, toimub terade sisselõikumine ja väljumine tööst eriaegselt. Viimane juht on rea järjestikku teostatavate esimeste juhtude kombinatsioon.

Analüüsime kõigepealt esimest (eri-) juhtu. Loeme, et toorik on jäik keha ja tema paigutus elastsetel tugedel (tsentritel) toimub ainult lõikejõudude radiaalkomponentide mõjul. Et määrata treitavate astmete pikisuunalist kujuhälvet, jaotame ülesande mitmeks järjestikuseks etapiks.

1. Määrame piki- ja ristsupordi poolt toorikule mõjuvate lõikejõudude radiaalkomponentide resultantjõudude suuruse. Vastavalt joonisele 24 saame

$$R = P_{1y} + P_{2y} + \ldots + P_{ny};$$

$$R' = P'_{1y} + P'_{2y} + \ldots + P'_{ny}.$$

2. Määrame resultantjõudude rakenduspunktide kaugused tooriku esiotsast:

$$L = \frac{P_{1y}l_1 + P_{2y}l_2 + \ldots + P_{ny}l_n}{R};$$

$$L' = \frac{P'_{1y}l'_1 + P'_{2y}l'_2 + \ldots + P'_{ny}l'_n}{R'}.$$

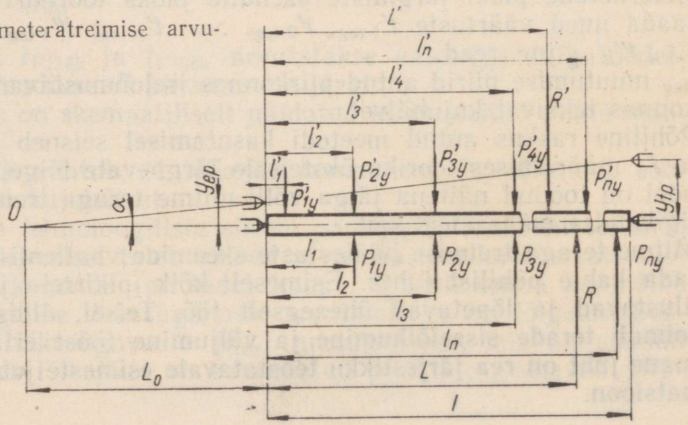
3. Leiame tööpingi esi- ja tagapuki elastse lükke resultantjõudude R ja R' mõjul:

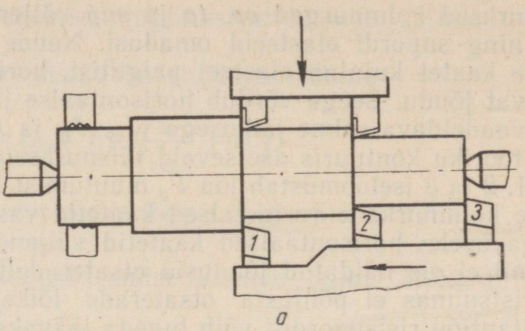
$$y_{ep} = \frac{R(l-L)}{J_{ep}l} - \frac{R'(l-L')}{J_{ep}l};$$

$$y_{tp} = \frac{RL}{J_{tp}l} - \frac{R'L'}{J_{tp}l},$$

kus l — tooriku pikkus.

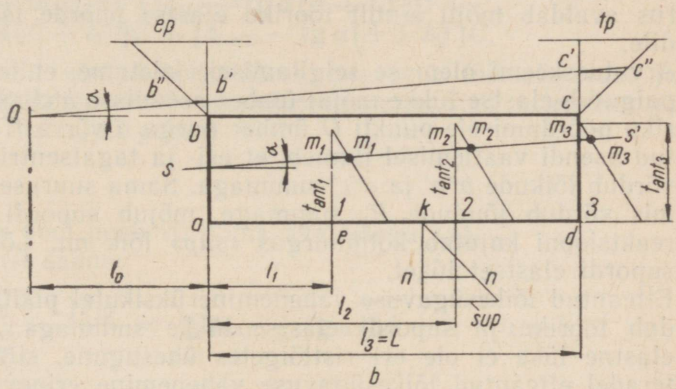
Joon. 24. Mitmeteratreimise arvutusskeem





a

Joon. 25. Paigutiste arvutamise skeem mitmeteratreimisel



b

Nurk tooriku telgede vahel lähte- ja lükatud asendis on määratav võrdusest

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y_{tp} - y_{ep}}{l}.$$

4. Kaugus telgede lõikepunktist (punkt *O*) kuni tooriku vasaku toeni

$$l_0 = \frac{y_{ep}}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{y_{ep} l}{y_{tp} - y_{ep}}.$$

Punkt *O* on tooriku telje pöördetsentriks. Selle tsentri asend ei muutu lõikejõudude radiaalkomponentide muutumisel tugede ja supordi elastsete paigutiste mõjul.

Et määrata pingi sõlmede elastseid paigutisi, mis mõjutavad töödeldavate astmete läbimõõte, vaatleme häälestuse konkreetset joonist ja sellele vastavat arvutusskeemi (joon. 25, *a* ja *b*). Skeemil joon. 25, *b* on toorik tinglikult kujutatud ristkülikuna *abcd*.

Täisnurksed kolmnurgad *ep*, *tp* ja *sup* väljendavad esi- ja tagapuki ning supordi elastseid omadusi. Nende kolmnurkade vertikaalne kaatet kujutab elastset paigutist, horisontaalne — sellele vastavat jõudu. Seega võrdub horisontaalse ja vertikaalse kaateti suhe vaadeldava sõlme jäikusega (J_{ep}; J_{tp} ja J_{sup}).

Rida tooriku kontuuris asetsevaid täisnurkseid kolmnurki indeksitega 1, 2 ja 3 iseloomustab jõu P_y muutumist lõikesügavuse mõjul. Nende kolmnurkade vertikaalsed kaatetid vastavad etteantud lõikesügavusele; horisontaalsed kaatetid väljendavad jõudu P_y.

Skeemil ei ole näidatud jõudusid otsateradelt. Võlli elastsed lükked ristsuunas ei põhjusta otsaterade lõikejõudude muutumist. Resultantjõu ristsupordilt võib lugeda jäävaks suuruseks. See suurus avaldab mõju ainult tooriku elastse pöörde tsentri O asendile.

Arvutusskeemi olemuse selgitamiseks oletame, et tooriku joon bc paigutub elastse lükke mõjul ümber asendisse $b'c'$. See vastab tooriku pöördumisele punkti O ümber nurga α võrra. Tooriku nihutatud asendi vaatlemisel ilmneb, et esi- ja tagatsentrile mõjuv jõud võrdub lõikude $b''b'$ ja $c''c'$ summaga. Sama suurusega reaktsioon, mis võrdub jõudude P_y summaga, mõjub supordi poolt. Seda reaktsiooni kujutab kolmnurgas «*sup*» lõik nn. Lõik kn kujutab supordi elastset lüket.

Etteantud lõikesügavuse vähenemine üksikutel pikitreiteradel võrdub tooriku ja supordi elastse lükke summaga. Kuna tooriku elastne lüke ei ole eri ristlõigetes ühesugune, siis on üksikutel teradel etteantud lõikesügavuse vähenemine erinev. Arvutusskeemil (joon. 25, *b*) väljendub etteantud lõikesügavuse vähenemine näiteks teral *1* vertikaalse lõiguna m_1e; horisontaalne lõik m_1m_1 väljendab vastavat radiaaljõudu P_y. Nende lõikude summa kõikidele pikitreiteradele võrdub lõiguga nn ja samuti lõikude $b''b'$ ning $c'c''$ summaga. Joon ss' peab olema paralleelne joonega $b'c'$. See järeldub joonise koostamise tingimustest.

Määrame tööpingi esi- ja tagatsentrile mõjuva summaarse jõu:

$$b''c' + c'c'' = l_0 \operatorname{tg} \alpha J_{ep} + (l_0 + L) \operatorname{tg} \alpha J_{tp}.$$

Esi- ja tagatsentri poolt vastuvõetav summaarne jõud peab võrduma supordile mõjuva jõuga:

$$b''b' + c'c'' = nn. \qquad (a)$$

Supordi elastne lüke

$$kn = \frac{nn}{J_{sup}} = l_0 \operatorname{tg} \alpha \frac{J_{ep}}{J_{sup}} + (l_0 + L) \operatorname{tg} \alpha \frac{J_{tp}}{J_{sup}}.$$

Elastsete lükete jagunemise tingimustest tuleneb, et lõik $as = kn + bb'$.
Asendades kn ja bb' nende väärtustega, saame

$$as = \operatorname{tg}\alpha \left[l_0 \frac{J_{ep}}{J_{sup}} + (l_0 + L) \frac{J_{tp}}{J_{sup}} + l_0 \right].$$

Tähistame nurksulgudes oleva liikme A-ga. Siis
$as = A \operatorname{tg}\alpha$.
Määrame antud arvutusskeemist lõikude m_1m_1, m_2m_2 ja m_3m_3 summa

$$m_1m_1 + m_2m_2 + m_3m_3 = [t_{1\,ant} - \operatorname{tg}\alpha(A + l_1)]C +$$
$$+ [t_{2\,ant} - \operatorname{tg}\alpha(A + l_2)]C + [t_{3\,ant} - \operatorname{tg}\alpha(A + l_3)]C.$$

Tegur C on siin võetud sõltuvusest, mis seob lõikesügavust ja lõikejõu radiaalkomponenti (muutumatu etteantud ettenihke ja tooriku antud materjali puhul): [1]

$$P_y = Ct.$$

Võrduse vasak pool peab võrduma avaldisega (a).
Peale teisendusi saame:

$$\operatorname{tg}\alpha \frac{l_0 J_{ep} + (l_0 + L) J_{tp}}{C} = \sum_{i=1}^{3} t_{i\,ant} - \operatorname{tg}\alpha(3A + l_1 + l_2 + l_3)$$

ehk

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{3} t_{i\,ant}}{\frac{l_0 J_{ep} + (l_0 + L) J_{tp}}{C} + 3A + l_1 + l_2 + l_3}.$$

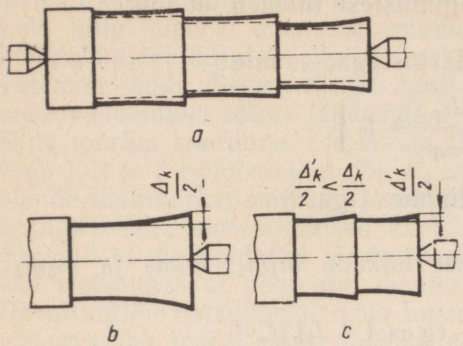
Saadud järelduse laiendamisel häälestuse üldisele juhule suvalise arvu (n) pikitreiteradega saame:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{i\,ant}}{\frac{l_0 J_{ep} + (l_0 + L) J_{tp}}{C} + nA + l_1 + l_2 + l_3 + \ldots + l_n}. \qquad (28)$$

Kui määrata $\operatorname{tg}\alpha$, võib iga pikitreitera jaoks arvutada tegeliku lõikesügavuse valemiga

$$t_{i\,teg} = t_{i\,ant} - \Delta t_i, \qquad (29)$$

[1] Lahendus on antud juhuks, kui $x_p = 1$.



Joon. 26. Töödeldud astmete kujuhälbed

kus Δt_i on tehnoloogilise süsteemi summaarne elastne lüke antud tasapinnas ehk radiaalmõõtme suurenemine.

$$\Delta t_i = \operatorname{tg}\alpha \left[l_0 + l_0 \frac{J_{ep}}{J_{sup}} + (l_0 + L) \frac{J_{tp}}{J_{sup}} + l_i \right]. \qquad (30)$$

Kui etteantud lõikesügavus on kõikide terade jaoks jääv ja nurga α tipp on pööratud esipuki poole, siis saadakse Δt_i suurim väärtus tooriku äärmises parempoolses lõikes.
Vaadeldava astme kujuhälbe määramiseks tuleb arvutada suurus $\Delta t'_i$ pikitreitera lõppasendis. Arvutus teostatakse sama metoodika järgi. Määratakse resultantjõu R uus asend, seejärel leitakse tsentri O muutunud asend. Kui asetada l_0 ja l_i uued väärtused valemisse (30), saame $\Delta t'_i$ suuruse. Töödeldava astme kujuhälve

$$\Delta_k = 2(\Delta t_i - \Delta t'_i).$$

Joonisel 26, *a* on täisjoontega näidatud astmete kuju peale treimist. Punktiirjooned määravad valmisdetaili etteantud kontuuri. Vaadeldaval töötlemisjuhul astmete kujuhälve väheneb võlli vasaku otsa poole. See järeldub valemi (30) analüüsist, millest on näha, et mõõtme l_i suurenemisel kasvab Δt_i väärtus ja järelikult suureneb ka Δ_k vastav väärtus.

Saadud sõltuvuste vaatlemisel võib konstateerida järgmisi võimalusi töödeldavate astmete kujuhälbe vähendamiseks.
1. Nurga α vähendamine tooriku pöördepunkti O eemaleviimise abil, mis saavutatakse tööpingi esi- ja tagapuki elastse lükke ühtlustamisega. Pinooli väljaulatuse muutmisega võime muuta taga-

puki jäikust ja sel viisil mõjutada tagatsentri elastse lükke suurust.

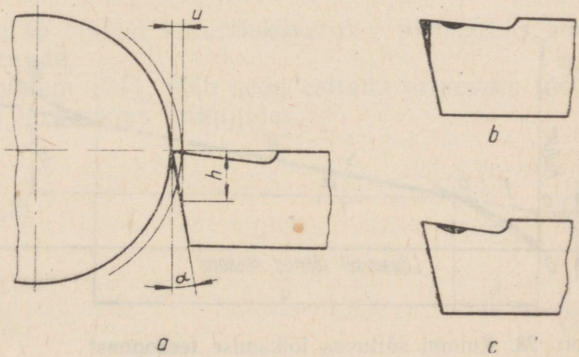
2. Tagapuki ristsuunas nihutamine. Sel juhul on võimalik saadav kujuhälve osaliselt kompenseerida «vastassuunalise» ehk vastukoonilisuse tekitamisega.

3. Antud astme ühe teraga töötlemise jaotamine mitme teraga töötlemiseks. Sel juhul saab töödeldud aste joonisel 26, *c* kujutatud vormi joonisel 26, *b* näidatud asemel, mis on saadud ühe teraga treimisel. Sellel variandil on eelis, et koos täpsuse suurenemisega suureneb ka töötlemise tootlikkus.

Häälestuse üldisel juhul, kus terade sisselõikumine ja tööst väljumine toimub eriaegselt, kujutab arvutusskeem endast rea lihtsate erijuhtude kombinatsiooni. Igaüht neist iseloomustab kindel üheaegselt töötavate terade arv. Iga juhu jaoks võib kasutada kujuhälbe määramise ülalkirjeldatud metoodikat. Sel viisil jaguneb treitav aste mitmeks, erineva profiiliga moodustajatega piirkonnaks, millel võib tekkida kohalikke astanguid.

Lõikeriista mõõduline kulumine. Töötlemisprotsessis täheldatakse lõikeriista progresseeruvat kulumist tema kontaktipindade hõõrdumise mõjul laastu ning töödeldava pinnaga. Puhastöötlemisel toimub kulumine tagatahult (joon. 27, *a*). Selle tulemusena lõikeserv nagu eemalduks töödeldavast pinnast suuruse *u* võrra. Tööriista esi- ja tagatahu üheaegset kulumist (joon. 27, *b*) täheldatakse lõike paksuse puhul üle 0,1 mm. Kulumist ainult esitahult (joon. 27, *c*) täheldatakse lõikeriistadel, mis lõikavad kihti paksusega üle 0,5 mm ja töötavad ilma jahutuseta suhteliselt suure lõikekiiruse juures.

Kulumine hõõrdumise mõjul toimub lõikeprotsessis pidevalt. Selle suuruse võib esimeses lähenduses lugeda antud jäävate tingimuste juures võrdeliseks lõikamise ajaga või lõikeriista poolt tooriku materjalis läbitud teekonnaga. Kulumi võib väljendada ka funktsioonina töödeldava pinna ruutmeetritest.



Joon. 27. Lõikeriista kulumise viisid

Mõningatest terastest (näit. ХВГ) tööriistadel täheldatakse kontaktipindade kulumise kõrval lõikeserva plastset deformatsiooni, mille tulemusena see mõnevõrra ümardub. Kõvasulamist lõikeriistadel esineb rohkem kui teistel lõikeserva murenemist, mis samuti mõjub teostatava mõõtme täpsusele.

Kulumise mõju töötlemise täpsusele tüsistab terakasvaja lõikeriista esitahul. Terakasvaja võib ulatuda üle lõikeserva, mis mõnevõrra kompenseerib kulumit tagatahul.

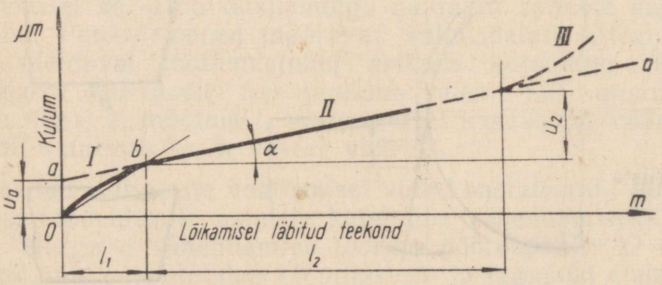
Terakasvaja suurenemine ei toimu kindla seaduspärasuse järgi. Aeg-ajalt ta laguneb ja seejärel tekib uuesti. See protsess toimub väga ebaregulaarselt, mistõttu töödeldavate toorikute mõõtmete muutumises võib esineda väikseid hüppeid. Võrreldes kulumiga tagatahul, on terakasvaja mõju töötlemise täpsusele siiski väike.

Lõikeriistade mõõdulist kulumit tuleb mõõta täpsete mõõteriistadega töödeldava pinna normaali sihis. Mõõdulise kulumi määramine kulumi laiuse h ja taganurga α tangensi (joon. 27, *a*) korrutisena annab vähemtäpse tulemuse.

Kõige sobivam on mõõdulist kulumit väljendada lõikeriista poolt tooriku materjalis läbitud teekonna funktsioonina. Tee pikkust on seejuures lihtne välja arvutada, kui teame töödeldava pinna mõõtmeid ja lõikerežiimi.

Mõõdulise kulumise uurimine on näidanud, et see protsess ei ole rangelt lineaarne (joon. 28). Lõikeriista töö esimese perioodiga kaasneb suurenenud mõõduline kulumine (*I* piirkond joonisel 28). Lõikeriista tööaeg selles piirkonnas ei ole pikk (mõni minut) ja lõikamisel läbitud teekond on tavaliselt alla 1000 m.

Teist perioodi iseloomustab lõikeriista normaalne kulumine (*II* piirkond). Lõikamisel läbitud teekond selles piirkonnas ulatub 30 000 m. Lõik *II* on sirgjooneline ja abstsisstelje suhtes väikese kaldega.



Joon. 28. Kulumi sõltuvus lõikamise teekonnast

Kolmas periood (*III* piirkond) on seotud lõikeriista kiire kulumisega; lühikese ajavahemiku vältel laguneb viimase lõikeserv.
Mõõdulise kulumise intensiivsust *II* piirkonnas võib iseloomustada kõvera selles piirkonnas oleva lõigu kaldenurga α tangensiga abstsisstelje suhtes.
Antud suurust nimetatakse suhteliseks (eri-) kulumiks u_0:

$$u_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{u_2}{l^2},$$

kus u_2 — mõõduline kulum tööriista töö teise perioodi vältel;
l_2 — lõikamisel läbitud teekond, mis vastab tööriista samale tööperioodile.

Arvutuste jaoks sobiv dimensioon suuruse u_0 jaoks on µm/km.
Mõõdulise kulumi arvutust võib lihtsustada, kui asendada kõver joonisel 28 sirgega *aa*. See sirge langeb kõveraga kokku *II* piirkonnas ja eraldab ordinaatteljest lõigu u_a, mis iseloomustab kulumist *I* piirkonnas. Suurust u_a nimetame algkulumiks ja väljendame mikromeetrites. Kui antud töötlemistingimuste juures on teada u_0 ja u_a väärtus, siis võib määrata mõõdulise kulumi lõikamisel läbitud tee pikkuse L puhul valemiga

$$u = u_a + \frac{u_0 L}{1000} \text{ µm}, \tag{31}$$

kus L on meetrites.
Toodud valem annab rahuldavad tulemused, kui $L > 1000$ m. Väikeste L väärtuste ($L < 400 \ldots 600$ m) puhul saadakse arvutatud u väärtused suurendatuna. Sel juhul on parem kasutada valemit

$$u = (u_a + l_1 u_0) \frac{D}{l_1} \text{ µm}. \tag{32}$$

Antud avaldis kujutab endast kulumiskõverat *I* piirkonnas asendava sirge *Ob* võrrandit.
Kui võtta aluseks valem (31), võib seda esitada erinevate töötlemismeetodite jaoks järgmistes erikujudes.
Pikitreimisel

$$u = u_a + u_0 \frac{\pi d l}{10^6 s} \text{ µm} \tag{33}$$

ehk

$$u = u_a + u_0 \frac{vT}{10^3} \text{ µm}. \tag{34}$$

Ristkülikulise pinna puhas-laupfreesimisel

$$u = u_a + u_0 \frac{1}{10^6 s_z z} \pi d_f \frac{\alpha}{360} \text{ µm.} \quad (35)$$

Siin l — töödeldava pinna pikkus mm;
d_f — freesi läbimõõt mm;
z — freesi hammaste arv;
s_z — ettenihe freesi hamba kohta mm;

Nurk α määratakse avaldisest

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{B}{d_f},$$

kus B on pinna laius mm.
Silinderfreesimisel võib mõõdulise kulumi määrata laupfreesimise valemi abil, kuid nurk α tuleb sel juhul määrata valemiga

$$\cos \alpha = 1 - \frac{2t}{d_f},$$

kus t — freesimise sügavus mm.
Hööveldamisel

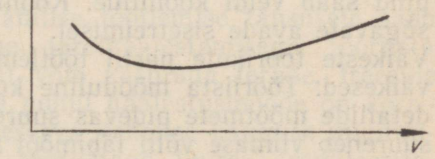
$$u = u_a + u_0 \frac{lB}{10^6 s} \text{ µm.} \quad (36)$$

Toorikute partii kammlõikamisel

$$u = u_a + u_0 \frac{ln}{10^6} \text{ µm,} \quad (37)$$

kus n — detailide arv partiis.
Suhtelise kulumi suurus sõltub reast teguritest: töötlemismeetodist, töödeldavast materjalist, lõikeinstrumendi materjalist, lõikerežiimist ja lõikeinstrumendi geomeetriast.
Kuni käesoleva ajani on suhtelist kulumit uuritud peamiselt treimise, laupfreesimise ja sisetreimise juures. Katsetega ei ole kindlaks tehtud suhtelise kulumi võrdlevat iseloomustust nimetatud töötlemismeetodite puhul, kuna lõikeprotsess ja -režiimid nende juures ei ole võrreldavad.
Töödeldav materjal ja eriti selle kõvadus mõjutab tugevasti tööriista suhtelist kulumit. Materjali kõvaduse suurenemisel suhteline kulum kasvab.
Suur mõju suhtelisele kulumile on lõikeriista materjalil. Väga kulumiskindlaks osutuvad terad sulamist T30K4 plaatidega. Sulamist T15K6 plaatidega teradel on muude samade tingimuste puhul kulum suurem.

Kiirlõiketerasest terade suhtelist kulumit on vähe uuritud. Süsinikterasest toorikute treimisel on see mõnevõrra suurem (1,5 ... 2 korda) kui kõvasulamplaatidega teradel. Kiirlõiketerase asendusmaterjalidest teradel on suhteline kulum veelgi suurem.
Mineraalkeraamikast ЦМ-332 plaatidega terade kulum on karastatud malmi (*HB* 375 ... 400) peensisetreimisel 1,5 ... 2 korda väiksem kui kõvasulamist BK2 ja BK3M plaatidega teradel.
Hallmalmist toorikute viimistlus-laupfreesimisel on mineraalkeraamikast ЦМ-332 plaatidega terade kulum kuni 8 korda väiksem kui kõvasulamist BK2 plaatidega varustatud teradel.
Katsetega on kindlaks tehtud, et head näitajad on ainult peeneteralise struktuuriga plaatidel. Ebaühtlase ja jämedateralise struktuuriga plaadid kuluvad kiiresti.
Lõikerežiimist on suurim mõju suhtelisele kulumile lõikekiirusel. Hallmalmist, legeeritud või süsinikterasest toorikute puhastöötlemisel täheldatakse suhtelise kulumi vähimat väärtust keskmiste lõikekiiruste ($v = 100 \ldots 200$ m/min) piirkonnas; koos kiiruse kasvuga selle keskmisest väärtusest alates hakkab kulum aeglaselt suurenema; väikeste kiiruste piirkonnas on suhteline kulum suur. Suhtelise kulumi muutumise iseloomulik kõver, olenevalt lõikekiirusest, on antud joonisel 29.



Joon. 29. Kulumi sõltuvus lõikekiirusest

Ettenihke, lõikesügavuse ja samuti lõikeriista geomeetriliste parameetrite mõju suhtelisele kulumile on uuritud ebapiisavalt. On teada, et terasest või malmist toorikute treimisel pikitreiteradega ettenihke suurendamisel 0,1 kuni 0,3 mm/p suureneb suhteline kulum 20 ... 50%. Lõikesügavuse suurendamisel 0,3 ... 1,5 mm suhteline kulum suureneb 50% võrra.
Taganurga suurendamine 8-st kuni 15° viib suurte lõikekiiruste piirkonnas suhtelise kulumi suurenemisele 30% võrra. Taganurga suurendamine keskmiste lõikekiiruste piirkonnas tihti vähendab tööriista suhtelist kulumit.
Esinurga ja teiste geomeetria elementide mõju suhtelisele kulumile on nõrgem.
Ebapiisavalt on uuritud tööriista algkulumist. Olemasolevate andmete alusel see lõpeb, kui tera on läbinud metallis teekonna pikkusega kuni 3000 m; algkulumi suurus on tavaliselt 5 ... 15 μm.

Tabelis 1 on toodud suuruste u_0 ja u_a väärtused töötlemise mitmesuguste tingimuste juures.

Tabel 1

Lõikeriistade alg- (u_a) ja suhtelise (u_0) kulumi keskmised väärtused puhastreimisel ja -sisetreimisel

Töödeldav materjal	Lõikeriista materjal	Algkulum µm	Suhteline kulum µm/km
Süsinik- ja legeeritud teras	T15K6, T30K4	2...8	2...10
Hallmalm	BK4, BK8	3...10	3...12
Süsinik- ja legeeritud teras	Mineraalkeraamilised plaadid ЦМ-332	1...3	0,5...1,0
Karastatud malm *HB*400	Sama	10	9
Värvilised sulamid	Teemant (peensisetreimisel)	—	0,0005...0,001

Suurte mõõtmetega toorikute töötlemisel moonutab lõikeriista mõõduline kulumine nende pinna kuju. Kui treida pikka, suure läbimõõduga võlli, siis vastavalt tera liikumisele tagapuki juurest esipuki poole töödeldava pinna läbimõõt pidevalt kasvab ja pind saab veidi kooniline. Koonilisuse tekkimist täheldatakse ka sügavate avade sisetreimisel.

Väikeste toorikute partii töötlemisel on pinna kuju moonutused väikesed. Tööriista mõõduline kulumine avaldub sel juhul partii detailide mõõtmete pidevas suurenemises. Võllide partii treimisel suureneb viimase võlli läbimõõt $2u$ võrra.

Näide. Revolvertreipingis töödeldakse partii detaile terasest 45. Treitava pinna läbimõõt on 10 mm; pikkus 30 mm; ettenihe 0,3 mm/p ja lõikekiirus 100 m/min; tera on varustatud kõvasulamist T15K6 plaadiga. Määrata viimase detaili läbimõõdu suurenemine, kui partiis on 500 detaili ja töötlemine toimub ilma tööriista järelhäälestuseta.

Mõõdulise kulumi määrame valemiga

$$u = u_a + u_0 \frac{\pi dln}{10^6 s} \text{ µm},$$

kus n — detailide arv partiis.

Kui asendame tabelist 1 $u_a = 5$ µm ja $u_0 = 10$ µm/km, saame

$$u = 5 + 10 \frac{\pi 20 \cdot 30 \cdot 500}{10^6 \cdot 0{,}3} = 36 \text{ µm}.$$

Partii viimase detaili läbimõõt suureneb $2u = 72$ µm.

Laupfreesi suhtelise kulumi võib määrata [18] valemiga

$$u_0 = \left(1 + \frac{100 \cdot 360}{\pi d_f \psi}\right) u_{01} \ \mu m, \tag{38}$$

kus d_f — laupfreesi läbimõõt mm;
ψ — freesi hamba ja tooriku kontaktinurk kraadides (sõltub freesitava pinna laiusest);
u_{01} — analoogiliste materjalide suhteline kulum treimisel.

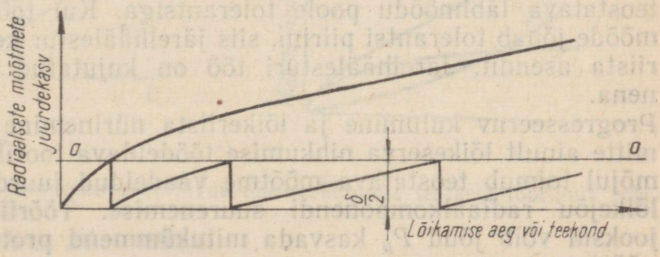
Väikese freesimise laiuse B ja suure läbimõõduga freeside puhul on kontaktikaar võrdne B-ga. Sel juhul saame ligikaudse valemi

$$u_0 = \left(1 + \frac{100}{B}\right) u_{01}.$$

Kui mitte arvestada algkulumi mõju ja freesi hammaste viskumist, võib freesi mõõdulise kulumi määrata ligikaudse valemiga

$$u = u_0 \frac{\pi l d_f}{10^6 s_z z} \cdot \frac{\alpha}{360} \ \mu m. \tag{39}$$

Sellest valemist ilmneb, et freesi mõõduline kulum on pöördvõrdeline tema hammaste arvuga.
Mõõdulise kulumise mõju mehaanilise töötlemise täpsusele saab vähendada tööpingi perioodilise järelhäälestamisega tööriista püsivusaja vältel. Seda meetodit võib kasutada terade, freeside ja teiste tööriistade juures, mille puhul häälestusmõõde on korrigeeritav tooriku ja tööriista lõikeserva vahelise kauguse muutmisega ja samuti reguleeritavate tööriistade juures (reguleeritavad hõõritsad, puurvõllid). Jäikade tööriistade juures (hõõritsad, kammlõikurid, kujufreesid, sooneterad jt.) ei ole antud meetod kasutatav.
Tunduvalt vähendavad mõõdulist kulumist suurte pindade treimi-



Joon. 30. Tööriista kulumise mõju automaatse järelhäälesturiga töötlemise täpsusele

sel, sisetreimisel ja hööveldamisel laia lõikeservaga terad. Nende teradega toimub töö suurte ettenihetega ja seetõttu tera teekond metallis ning järelikult ka tööriista mõõduline kulum on väikesed.

Puhastöötlemisel on mõõtmete lubatud kõikumine tavaliselt alla 0,2 ... 0,3 mm ja tera kulumist põhjustatud töötlemishälve ei tohi ületada 0,1 mm. Kui toorikuid töödeldakse automaatliinidel, siis toimub nürinenud tööriista järelhäälestamine ja vahetamine töövahetuste vaheajal. Sel juhul peavad lõikerežiimid olema arvutatud nii, et tööriista mõõduline püsivusaeg ei oleks väiksem nimetatud ajast.

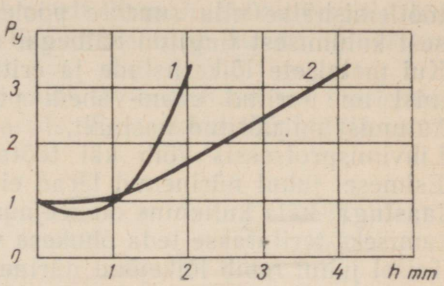
Detailide töötlemisel prooviläbimite meetodil on mõõdulise kulumise mõju täpsusele väike. Antud juhul sõltub mõõdulisest kulumisest ainult töödeldava pinna kuju täpsus (suurte mõõtmetega pindade töötlemisel võib seda hälvet osaliselt vähendada tööriista perioodilise ettenihkega sügavuse suunas).

Detailide töötlemisel häälestatud pinkides võib lõikeriistade mõõdulise kulumise õigeaegselt kindlaks määrata toodete kontrollimisega tavalistel meetoditel või statistilise kontrolli vahenditega koos tulemuste kaardile kandmisega. Tavalistes tingimustes ilmneb mõõduline kulumine teostatava mõõtme pidevas suurenemises. Kui vajalikul hetkel järelhäälestada või vahetada lõikeriist, võib mõõdulise kulumise mõju töötlemise täpsusele reglementeerida soovitud piirides. Sel viisil sõltub töötlemise täpsus teataval määral subjektiivsetest (tahtelistest) teguritest.

Automaatsete järelhäälesturite kasutamine vähendab tunduvalt lõikeriista mõõdulise kulumise mõju töötlemise täpsusele. Joonisel 30 on antud automaatse järelhäälesturi töö skeem. Ordinaatteljele on kantud töödeldavate detailide radiaalmõõtme juurdekasv tööriista mõõdulise kulumise mõjul, abstsissteljele — aeg (või tööriista poolt tooriku metallis läbitud teekond). Ülemine kõver iseloomustab mõõdulise kulumise kulgu sõltuvalt lõikamise ajast või teekonnast. Abstsisstelje ja joone *aa* vaheline kaugus $\frac{\delta}{2}$ võrdub teostatava läbimõõdu poole tolerantsiga. Kui töödeldava detaili mõõde jõuab tolerantsi piirini, siis järelhäälestur korrigeerib lõikeriista asendit. Järelhäälesturi töö on kujutatud hambulise joonena.

Progresseeruv kulumine ja lõikeriista nürinemine kutsuvad esile mitte ainult lõikeserva nihkumise töödeldava tooriku suhtes, mille mõjul toimub teostatava mõõtme vaadeldud juurdekasv, vaid ka lõikejõu radiaalkomponendi suurenemise. Tööriista püsivusaja jooksul võib jõud P_y kasvada mitukümmend protsenti esialgsest väärtusest.

Joonisel 31 on näidatud P_y muutumine sõltuvalt tera kulumist



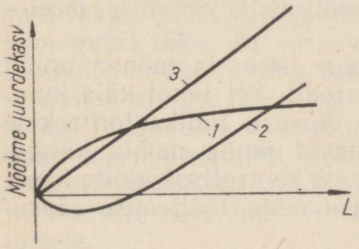
Joon. 31. Lõikejõu sõltuvus kulumisest tööriista tagatahul

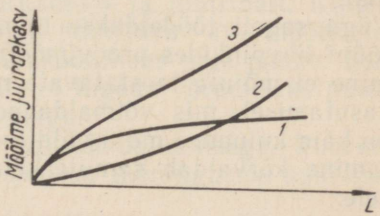
(kulumi laiusest h tera tagatahul). Kõver *1* vastab terasest ja tempermalmist toorikute töötlemisele, kõver *2* — hallmalmist toorikute töötlemisele. Esimesel juhul täheldatakse algul P_y mõningast vähenemist ja seejärel pidevat ning intensiivset kasvu. Hallmalmist toorikute töötlemisel täheldatakse kaht P_y muutumise staadiumi: algul P_y kasvab aeglaselt, hiljem kiiresti.

Kui lugeda mõõduline kulum võrdeliseks kulumi laiusega tööriista tagatahul, siis võib joonestada teostatava mõõtme lõiketeekonnast sõltuva juurdekasvu kõvera, kus on arvestatud mõõdulise kulumi otsest mõju ja tehnoloogilise süsteemi lülide elastset lüket lõikejõu radiaalkomponendi suurenemise tulemusena.

Kõver *1* joonisel 32 iseloomustab teostatava mõõtme juurdekasvu tööriista mõõdulise kulumise tagajärjel, kõver *2* — sama mõõtme juurdekasvu elastse lükke tulemusena. Kõver *3* on kõverate *1* ja *2* geomeetrilise liitmise tulemus ja on joonestatud terasest toorikute töötlemisel. Joonisel 33 on toodud analoogilised kõverad hallmalmist toorikute töötlemise kohta.

P_y suure väärtuse ja tehnoloogilise süsteemi väikese jäikuse korral võib lõikejõu radiaalkomponendi suurenemisest esilekutsutud





Joon. 32. Mõõtme juurdekasvu sõltuvus lõiketeekonnast terasest toorikute töötlemisel

Joon. 33. Mõõtme juurdekasvu sõltuvus lõiketeekonnast hallmalmist toorikute töötlemisel

töötlemishälve olla suuruse poolest võrreldav tööriista mõõdulisest kulumisest tingitud hälbega.
Kui metalsete lõikeriistade ja eriti pikitreiterade mõõdulist kulumist on uuritud enam-vähem piisavalt, siis käiade mõõdulist kulumist on uuritud kasinalt.
Lihvimisprotsessis võib käi töötada nürinedes või iseteritudes. Esimesel juhul nürinenud terad ei eraldu ja käia poorid täituvad laastuga; käia kulumine on seejuures väike. Käia lõikevõime taastamiseks teritatakse teda õhukese väliskihi mahalõikamisega.
Teisel juhul rebib lõikejõud nürinenud terad käia sideainest välja. Seejuures uueneb pidevalt käia lõikav pind, kuna tööle hakkavad uued, nürinemata terad. Iseterituv käi kulub kiiresti ja teda teritatakse geomeetrilise kuju taastamiseks, sest kulumine on ebaühtlane.
Täielik iseteritumine saavutatakse sideaine liigi ja käia struktuuri hoolika valimisega ning lihvimisrežiimi õige valikuga. Kui käia radiaalne surve on väike, siis ei ole lõikejõud piisav nürinenud terade väljakiskumiseks; käi töötab iseteritumata, tema kulum ajaühikus on väike ja minutine metallieraldus kahaneb. Käia radiaalse surve suurendamisega kuni teatava väärtuseni võib saavutada täieliku iseteritumise, mille juures metallieraldus on ajas muutumatu ja käia kulum (s. o. tema raadiuse vähenemine) võrdeline lihvimise kestusega.
Käia kulumise intensiivsus sõltub tema läbimõõdust. Suure läbimõõduga käiad, mida tavaliselt kasutatakse välis-ümarlihvimisel, kuluvad mitu korda aeglasemalt kui siselihvimisel kasutatavad käiad. Kui ümarlihvimisel teritatakse käia 15 ... 20 min järel, siis automaatse või poolautomaatse tsükliga töötavates siselihvpinkides teritatakse käia iga puhasläbimi eel.
Käia mõõtme vähenemine tema kulumise või teritamise tagajärjel mõjub töötlemise täpsusele erinevalt sõltuvalt lihvimise meetodist.
Väga sageli töödeldakse toorikuid ümar-, sise- ja mõnda muud tüüpi lihvpinkides proovimõõtmiste meetodil. Sel juhul käia kulumine ei mõjuta teostatavate mõõtmete täpsust. Indikaatorharkide kasutamisel, mis võimaldavad töödeldavat pinda mõõta käigul, on käia kulumise mõju välditud. Aktiivsete kontrollvahendite kasutamine kõrvaldab samuti käia kulumise mõju töötlemise täpsusele.
Tsentriteta lihvpinkides tuleb käia kulum kompenseerida käiapuki perioodilise ettenihkega. Sel juhul mõjutab kulumise intensiivsus tööpingi järelhäälestuste vahelise tööperioodi pikkust.
Ligikaudu võib käia kulumi määrata töödeldavatelt toorikutelt eemaldatava metalli mahu järgi. Tööstuslike tähelepanekute abil on kindlaks tehtud, et käia materjali ühe mahuühiku kohta, mille

see kaotab kulumisel, tuleb keskmiselt 20 mahuühikut eemaldatud metalli. Selle suhte alusel võib käia mõõdulise kulumi (raadiuse suunas) arvutada järgmiselt.

Tähistame F — lihvitav pindala mm², Z — mahavõetav töötlemisvaru mm, n — detailide arv partiis, F_k — käia tööpindala mm². Siis

$$\frac{FZn}{20} = uF_k,$$

ja siit

$$u = \frac{FZn}{20F_k} \text{ mm.}$$

Täpsemini väljendab käiade mõõdulist kulumit eksperimentaalne sõltuvus

$$Q_a = CQ^n,$$

kus Q_a — ajaühikus kulunud käiaosa maht;
Q — metalli eraldamise intensiivsus;
C — võrdetegur (määratakse katsega);
n = 1,6 ... 2.

Ilma aktiivse kontrolli vahenditeta ja automaatse järelhäälestamiseta lihvimisel võimaldab käia mõõdulise kulumise tundmine kompenseerida käia mõõtme kaotust ja samuti leida töötlemisprotsessis parandus limbi häälestusjaotuse väärtusele.

Avade töötlemise riistade (puurid, avardid, hõõritsad) kulumine. Avade puurimisel kulub puur esi- ja tagatahult, «nurkadest», s. o. kohtades, kus pealõikeserv lõikub juhtribaga, juhtribalt ja sideservalt. Kõige iseloomulikum ja tähtsam puuri tööle on nürinemine «nurkadest» ja juhtribalt. Kulum läbimõõdu suunas, mis vahetult mõjub puuritava ava mõõtmele, suureneb märgatavalt, kui puuri vastukoonilisus pole piisav. Esimeses lähenduses võib seda liiki kulumi lugeda võrdeliseks puuri poolt tooriku metallis läbitud teekonnaga.

Avardite kulumine on analoogiline puuride kulumisega. Puuride ja avardite kulumine viib telje külisjooksu mõningasele suurenemisele.

Avade hõõritsemise ja avardamisega kaasneb nende lobestumine. Kuivalt töötades on lobestus suurem kui jahutusvedelike kasutamisel. Emulsiooni kasutamine vähendab lobestust 2 ... 4 korda, rapsiõli 1,5 ... 2 korda. Hõõritsate kulumise protsessis ava lobestus suureneb. Ava läbimõõdu suurenemisel telje külisjooks väheneb, aga ava lobestus ja läbimõõdu hälve kasvavad.

Tööpingi häälestuse vead. Nürinenud tööriista perioodiline vahetamine kutsub esile vajaduse häälestada iga kord tööpink teostatavale mõõtmele. Väikeste tolerantside puhul tuleb mõõdulise kulumi kompenseerimiseks teha tööriista püsivusaja vältel üks või mitu järelhäälestamist tema asendi reguleerimisega detaili suhtes. Häälestamise ja järelhäälestamise ülesanne seisneb selles, et antud partii kõikide detailide teostatavad mõõtmed oleks tolerantsivälja piirides.

Käesoleval ajal on teada kaks põhimõtteliselt erinevat häälestamise meetodit. Esimese meetodi puhul toimub tera seadmine järjekindla liginemisega etteantud häälestusmõõtmele proovidetailide tööpingis töötlemise tulemusena. Proovidetailide mõõtmeid kontrollitakse kas universaalsete mõõteriistadega või piirkaliibritega. Proovidetailide kontrollimise tulemuste alusel määratakse vajalik tööriista nihutuse suurus ja suund.

Teise meetodi puhul seatakse lõikeriist nõutavasse ettearvutatud asendisse etaloni (kõrgend, gabariitetalon) abil. Lõikeriista seadmine toimub tööpingi mittetöö- (staatilises) olukorras või väljaspool tööpinki (kui kasutatakse mahavõetavaid suporte, puurvõlle, revolverpäid ja teisi seadiseid).

Häälestamise esimese meetodi teooria matemaatilise statistika kasutamise alusel on välja töötanud prof. A. B. Jahhin. Häälestamise küsimusi on käsitlenud ka prof. A. P. Sokolovski, kes andis häälestuse töömõõtme definitsiooni ja staatilise häälestuse mõõtme arvutuse.

Lõikeriista iga vahetuse või iga reguleerimise juures pole võimalik teda seada nii, et tal oleks täiesti ühesugune ja muutumatu asend tööpingis. Töödeldavate detailide eri partiide puhul on see erinev. Nimetame kaugust tööriista kahe piirasendi vahel ehk tema asendite hajumisvälja tööpingi häälestusveaks. Selle suuruse, mis põhjustab mitme partii detailide töötlemisel taotletava mõõtme täiendava hälbe, tähistame Δ_h. Suurus Δ_h sõltub tööpingi häälestamise meetodist ja kujutab endast maksimaalse ja minimaalse häälestusmõõtme vahet. Häälestusvea suurus on määratud häälestaja kvalifikatsiooniga, s. t. sõltub subjektiivsetest teguritest, aga ka kasutatavate mõõteriistade ja etalonide kvaliteedist ning valmistamise täpsusest. Proovidetailide järgi häälestamisel on häälestusviga samuti antud meetodile omase arvutuse ebatäpsuse funktsiooniks.

Proovidetailide järgi häälestamisel hinnatakse häälestuse täpsust töödeldud detailide mõõtmise tulemuste alusel. Tavaliselt loetakse saadud mõõtmete aritmeetiline keskmine antud häälestusega töödeldavate detailide partii mõõtmete grupeerumise tsentriks. Häälestaja ülesandeks on saavutada selle grupeerumise tsentri võimalikult täielikum kokkulangemine häälestusmõõtmele vastava

punktiga. Kui proovidetailide mõõtmetest arvutatud aritmeetilise keskmise väärtus erineb häälestusmõõtmest, siis häälestaja korrigeerib (reguleerib) limbi või mõne muu seadise abil tööriista asendit.
Proovidetailide mõõtmise vigade Δ_m ja tööriista asendi reguleerimise vigade Δ_r olemasolu tingib iga partii detailide jagunemiskõvera grupeerumise tsentri nihkumise häälestusmõõtme suhtes. Suurim nihe ja vastavalt häälestusviga kui nihkumise hajumisväli:

$$\Delta_n = \pm(\Delta_m + \Delta_r);$$
$$\Delta_h = 2(\Delta_m + \Delta_r). \qquad (41)$$

Kui eeldada, et proovidetailide mõõtmise ja tööriista asendi reguleerimise ebatäpsus on tingitud ainult juhuslike hälvete olemasolust, siis võib vigu Δ_m ja Δ_r liita ruutjuurjuhise järgi:

$$\Delta_h = 2k\sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_r^2} \qquad (42)$$

kus $k = 1 \ldots 1{,}2$ — tegur, mis arvestab mõõtmis- ja reguleerimisvigade jagunemisseaduse hälbimust normaaljagunemisseadusest.
Tabelis 2 on toodud mitmesuguste universaalsete mõõteriistadega pikkuse mõõtmise piirvead.
Tabelis 3 on antud lõikeriista asendi limbi abil reguleerimise vead koos käigukruvi veaga sõltuvalt jaotuse väärtusest.
Kui arvestada, et tööriista vajaliku nihutuse suuruse määramine on seotud arvutusmeetodi enda veaga, siis häälestusviga suureneb kuni

$$\Delta_h = 2k\sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_r^2 + \Delta_a^2}, \qquad (43)$$

kus Δ_a — tööriista nihutuse arvutusmeetodi viga.
Viimase suuruse määrab proovidetailide aritmeetilise keskmise arvutamise viga. Nagu teada, viga

$$\Delta_a = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

kus σ — antud töötlemismeetodi täpsust iseloomustav keskmine ruuthälve;
n — proovidetailide arv.

Koos n kasvamisega kahaneb proovidetailide artimeetilise keskmise arvutamise viga ja kasvab vastavalt tööpingi häälestuse täpsus.
Kuid praktiliselt ei saa n väärtust valida väga suurt. Suurte ja

Tabel 2

Pikkuste mõõtmise piirvead (±) Δ_u µm

Mõõteriista nimetus	Pikkusmõõtplaadid: Järk	Pikkusmõõtplaadid: Täpsusklass	Mõõtmete intervall millimeetrites: 1 ... 10	50 ... 80	360 ... 500
Minimeetrid:					
jaotuse väärtusega 0,001 mm	3	0	0,5	0,8	1,8
	4	1	0,6	1,0	3,0
	5	2	0,7	1,4	4,5
	6	3	1,0	2,0	8,0
jaotuse väärtusega 0,002 mm	4	1	1,0	1,4	3,5
	5	2	1,2	1,8	5,0
	6	3	1,4	2,5	8,0
jaotuse väärtusega 0,005 mm	5	2	2,0	2,5	5,0
	6	3	2,2	3,0	8,5
Indikaatorid jaotuse väärtusega 0,01 mm, kui töötada osuti ühe pöörde piirides					
0. täpsusklass	6	3	10	10	13
1. täpsusklass	6	3	15	15	16
2. täpsusklass	6	3	20	20	22
Tehase «Kalibr» tüüpi indikaatorseadis sisemõõtmisteks 1. täpsusklassi indikaatoriga, kui töötada osuti ühe pöörde piirides	6	3	16	17	20
Kruvimõõdikud	Absoluutse mõõtmise meetod				
0. täpsusklass			4,5	6	15
1. täpsusklass			7,0	9	25
2. täpsusklass			—	18	25
Sisekruvimõõdikud					
1. täpsusklass	—	—	—	18	35
2. täpsusklass	—	—	—	20	45

Tabel 3

Tööriista limbi abil seadmise vead

Limbi jaotuse väärtus mm	Tööriista seadmise viga µm	Läbimõõdu hälve µm
0,01	5...10	10...20
0,05	15...30	30...60
0,1...0,5	30...70	—

kallite detailide puhul võetakse n võrdseks viiega. Sealjuures on risk nende praaki minekuks suhteliselt väike. Väikeste odavate detailide puhul võetakse $n = 5...10$. Kui $n = 10$, siis saadakse aritmeetilise keskmise arvutamisel täiesti piisav täpsus.
Toorikud proovidetailide töötlemiseks tuleb valida ühtlaselt kogu partiist. Sel viisil välditakse suuremal määral ühe või mitme alaliselt toimiva teguri mõju.
σ määramine kümne proovidetaili alusel on väheusaldatav. Et mitte teha keerukaid ja töömahukaid arvutusi σ määramiseks suurema arvu proovidetailide alusel, võib selle asemel võtta keskmise ruuthälbe väärtuse, mis on teada varasematest mõõtmistest antud meetodi ja antud töötlemistingimuste juures.
Kui $n = 5$, siis $\Delta_a = \pm 0{,}45\sigma$;
kui $n = 10$, siis $\Delta_a = \pm 0{,}32\sigma$.
Kui σ ei ole teada, siis võib ligikaudu võtta

$$\sigma = \frac{\delta}{6},$$

kus δ — taotletava mõõtme tolerants.
Kui $n = 5$, siis $\Delta_a = \pm 0{,}75\delta$, ja kui $n = 10$, siis $\Delta_a = \pm 0{,}053\delta$.
Mõned autorid soovitavad tolerantsivälja keskmega kokkulangeva mõõtme võtta kõikidele töötlemisprotsessidele häälestusmõõtmeks. Teised [9] loevad, et tööpingi häälestamine tolerantsivälja keskmele ei ole enamikul juhtudel ratsionaalne, kuna see ei võimalda tehnoloogilise protsessi täpsuse ja tootlikkuse reserve lõpuni ära kasutada. Nad soovitavad häälestusmõõtme asendi määrata keskmise ruuthälbe osades tolerantsivälja alumisest või ülemisest piirist ja häälestusmõõtme tolerantsi võtta võrdseks 4σ ning paigutada see sümmeetriliselt häälestusmõõtme suhtes. Need autorid peavad vajalikuks fikseerida häälestusmõõde tehnoloogilisel kaardil ja kontrollida häälestuse õigsust viie detaili järgi skaalaga mõõteriistade või kontrollrakiste abil. Mõõteriistal peab tulema joonise tolerantsivälja kohta 5 kuni 25 skaala jaotust.

Praktiliselt on küllalt täpne lugeda häälestusviga võrdseks $2\sigma \ldots 0{,}1\delta$, kus δ — teostatava mõõtme tolerants.

Tööriista limbi järgi seadmise viga sõltub peale häälestaja kvalifikatsiooni ka supordi, terakelgu või terapea liikuva osa, millesse kinnitatakse lõikeriist, massist. Suure massi puhul on raske kindlustada nende sujuvat väikese ulatusega liikumist. Nende nihkumine toimub tavaliselt jõnksukaupa hõõrdumise hüppelise iseloomu tõttu juhikutes ja käigukruvi keermel. Kerge koputamisega käepidemele tõstetakse seadmise täpsust 30 ... 40%.

Lõikeriista asendit korrigeeritakse ka indikaatori või minimeetri abil. Esimesel juhul on tööriista paigutuse viga indikaatori tundlikkusest sõltuvalt piirides 10 ... 30 μm. Minimeetri abil reguleerimise viga on väiksem ja on piirides 5 ... 10 μm. Nimetatud mõõteriistad paigaldatakse tööpinki spetsiaalsete, küllaldast jäikust omavate rakiste abil.

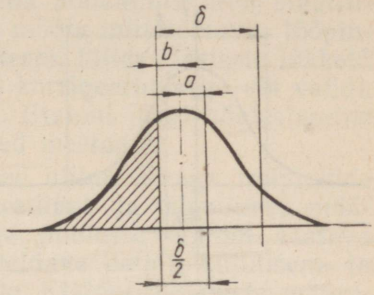
Teine viis tööpingi häälestamiseks proovidetailide järgi põhineb jäikade piir- ja normaalkaliibrite kasutamisel. Kontrollitavate proovidetailide väikese arvu korral (alla viit) ei anna see meetod usaldusväärseid tulemusi: häälestaja veendub ainult selles, et kontrollitavad proovidetailid on kaliibri tolerantsiväljas, samal ajal ei ole kindel, et mõõdetud detailide grupeerumise tsenter langeb kokku antud meetodil töödeldud detailide mõõtmete grupeerumise tsentriga. Kui nimetatud grupeerumise tsentrid ei lange kokku, võib tekkida praak, kuna osa töödeldavaid detaile väljub teostatava mõõtme tolerantsiväljast.

Suure arvu kontrollitavate proovidetailide puhul annab *jäikade piirkaliibritega* häälestamine positiivseid tulemusi. Kui kaliibri tolerantsiväli on võrdne teostatava mõõtme tolerantsiväljaga ja proovidetailide tegelike mõõtmete jagunemine allub normaaljagunemisseadusele, siis kõikide proovidetailide langemine kaliibri tolerantsivälja viitab nende grupeerumise tsentri kokkulangemisele teostatava mõõtme tolerantsivälja keskmega. Kui n proovidetailist m detaili ei jää kaliibri tolerantsivälja piiridesse, siis on see tõendiks, et proovidetailide grupeerumise tsenter ei lange kokku teostatava mõõtme tolerantsivälja keskmega. Joonisel 34 vastab Gaussi kõvera ja horisontaaltelje vahel olev viirutatud pind proovidetailide kogusele m, aga kogu pind Gaussi kõvera ja horisontaaltelje vahel — kogusele n.

Suurus a, mille võrra tuleb tööpingi häälestamisel nihutada lõikeriista, määratakse võrdusest

$$a = \frac{\delta}{2} - b, \tag{44}$$

kus δ — teostatava mõõtme tolerants.



Joon. 34. Jäiga piirkaliibriga häälestamise vea arvutamise skeem

Suuruse b võib omakorda leida avaldisest

$$\frac{m}{n} = \frac{1}{2}\left[1 - \Phi\left(\frac{b}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right], \tag{45}$$

kus $\Phi\left(\frac{b}{\sqrt{2}\sigma}\right)$ — hälvete Gaussi integraal (leitakse tabelitest).

Jäiga piirkaliibriga häälestamise viga koosneb kahest suurusest: lõikeriista asendi reguleerimise veast Δ_r ja häälestusmõõtme arvutusmeetodi veast Δ_a.

Analoogiliselt proovidetailide järgi häälestamise meetodile saame häälestusvea arvutamiseks järgmise valemi:

$$\Delta_h = 2k\sqrt{\Delta_r^2 + \Delta_a^2}. \tag{46}$$

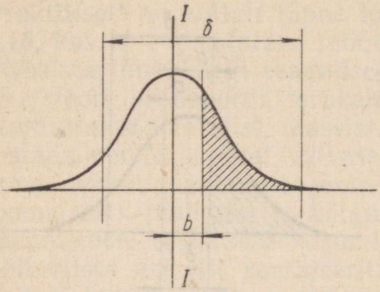
Δ_r määramist on vaadeldud eespool.

Suuruse Δ_a võib leida, kui arvestada, et proovidetailide mõõtmete jaotumine hälbib normaaljagunemisseadusest. Suhteliselt väikese n väärtuse puhul on see asjaolu üsna tõenäoline. n-i kasvamisel jaotus läheneb järjest rohkem normaaljagunemisele.

Tööpingi jäiga piirkaliibriga häälestamise viga sõltub proovidetailide arvust n ja grupeerumise tsentri nihkest a teostatava mõõtme tolerantsivälja keskme suhtes. n-i kasvamisel häälestusviga mõnevõrra väheneb; Δ_h on erinev a erinevate väärtuste puhul.

Kui arvestada häälestusvea vähest olenevust n-ist ja tema suurt kõikumist a erinevate väärtuste puhul, võib ligikaudsetes arvutustes võtta Δ_h võrdseks σ.

Jäiga piirkaliibriga häälestamine on võimalik juhul, kui grupeerumise tsenter ei ole nihkunud rohkem kui taotletava tolerantsi suurus. Suurema nihke korral osutuvad kõik proovidetailid väiksemaks kui kaliibri läbiv (suuremaks kui mitteläbiv) pool ja tööriista vajaliku nihke suurus on määramatu. Tööriista asendi reguleerimisega võib saavutada, et esimesed kaks-kolm proovidetaili satuvad teostatava mõõtme tolerantsivälja piiridesse. Kasu-



Joon. 35. Jäiga normaalkaliibriga häälestamise vea arvutamise skeem

tades esitatud arvutusmetoodikat, leiame suuruse a, mille võrra on vaja lõikeriista täiendavalt nihutada grupeerumise tsentri ühitamiseks tolerantsivälja keskmega.

Tööpinki võib häälestada ka *jäiga normaalkaliibri* abil, mille mõõde on valmistatud tööldeldavate detailide keskmise mõõtme järgi. Häälestamise skeem on näidatud joonisel 35. Siin δ — teostatava mõõtme tolerants. Joon *I—I* iseloomustab töötlemise keskmist mõõdet. Nihutus b leitakse valemiga (45), kus suhe $\frac{m}{n}$ arvutatakse jagunemiskõvera parempoolses viirutatud osas olevate detailide arvu m ja proovidetailide koguarvu n järgi. Kui tööldeldakse välist silinderpinda, siis suurus m vastab proovidetailide arvule, mille mõõde osutub suuremaks või väiksemaks keskmisest mõõtmetest joonisel (harkkaliibri mõõtmest). Vastavalt sellele korrigeeritakse tera asendit tema nihutamisega tsentrite joone suhtes.

Antud meetod kindlustab grupeerumise tsentri väikeste nihete korral häälestamise suurema täpsuse, võrreldes piirkaliibri abil häälestamisega. Samal ajal on tema kasutamine võimalik ainult nihete korral alla 3σ. Vastasel juhul m-i väärtus muutub nulliks ja vajaliku nihke suurus b on määramatu.

Nagu eelmiselgi juhul saavutatakse tööriista ettevaatliku nihutamisega seda, et mõned proovidetailid $m = 1 \ldots 2$ tulevad suuremad (väiksemad) kui kaliibri mõõde. Tööriista täiendav nihe leitakse arvutusega valemi (45) abil.

Etaloni järgi lehtkaliibri abil seatakse lõikeriista tavaliselt freesja treipinkide häälestamisel. Lehtkaliibriga kontrollitakse rakise korpusse kinnitatud «kõrgendi» tasapinna ja freesi hamba vahelist kaugust. Lehtkaliibri abil seadmise täpsus sõltub töölise kvalifikatsioonist, freesi hammaste radiaalviskumise suurusest (kuna seadmist võib teostada kõige rohkem või kõige vähem eenduva hamba järgi) ja samuti «kõrgendi» ning lehtkaliibri valmistamise täpsusest ja kulumise astmest. Lehtkaliibri abil seadmise vea võib antud juhul orienteerivalt hinnata vahemikku 15 ... 45 μm.

Etaloni järgi häälestamist tuleb lugeda nõndanimetatud staatiliseks meetodiks, kuna tööriist seatakse mõõtu mittetöötavas tööpingis. Sel juhul tuleb tehnoloogilise süsteemi lülide elastseid lükkeid arvesse võtta etaloni mõõtme vastava korrigeerimisega või valida katseliselt lehtkaliibri vajalik paksus. Etaloni järgi häälestamine võtab tunduvalt vähem aega kui teised meetodid.

Antud meetodil on eriti suured eelised mitme teraga treipinkide häälestamisel. Terade vajalik asend radiaal- ja telgsuunas määratakse nende lõikeservade viimisega puutesse etaloni vastava pinnaga. Viimane valmistatakse töödeldava detaili kujulisena ja paigaldatakse tööpingi tsentrite vahele. Etaloni mõõtmete määramisel tuleb arvestada tööpingi sõlmede elastseid lükkeid lõikejõudude toimel, spindli laagrite lõtke ja töödeldava pinna mikrokonaruste kõrgust, kuna tera seatakse süvendite põhja järgi, aga töödeldavat pinda mõõdetakse konaruste harjadelt. Loetletud tegurite summaarset mõju võib arvestada vajaliku paranduse viimisega häälestusmõõtmesse ja mõne proovidetaili töötlemisega.

Etaloni järgi häälestamise vea, s. o. lõikeriista asendi vea mittetöötavas tööpingis leiame valemiga

$$\Delta_h = \Delta_e + \Delta_s, \tag{47}$$

kus Δ_e — etaloni valmistamise viga;
Δ_s — tööriista seadmise viga.

Kui etalon on võllikujuline (treimistööde jaoks), siis ristmõõtme suhtes Δ_e määramisel tuleb võtta pool tema läbimõõdu tolerantsist. Sellele suurusele tuleb liita kahekordne etaloni astme ekstsentrilisus tsentriavade telje suhtes.

Kui eeldada, et liidetavad vead on esile kutsutud juhuslike põhjuste poolt, siis

$$\Delta_h = k\sqrt{\Delta_e^2 + \Delta_s^2}. \tag{48}$$

Suuruse Δ_e võib võtta vahemikus 10 ... 20 μm, aga etaloni astme ekstsentrilisuse saab hoida 5 μm piirides. Tööriista lehtkaliibri või paberiribaga seadmise vea suuruseks võib võtta 20 ... 50 μm. Vigade algebralisel liitmisel moodustab Δ_h 35 ... 70 μm. Nende vigade ruutliitmisel, kui $k = 1{,}2$, moodustab Δ_h 30 ... 65 μm. Suuremad Δ_h väärtused käivad tavalise, väiksemad suurendatud täpsusega häälestuse kohta.

Mõnel juhul on vaja tööriist töödeldavast detailist eemaldada ja hiljem uuesti viia endisse asendisse. Seda tehakse jäikade või indikaatoriga tõkete abil. Jäiga tõkke abil seadmine on vähetäpne. See on tingitud sellest, et tööline ei saa kindlustada jõu muutu-

matust, millega ümberpaigutatav suport surutakse vastu tõket, ja samuti sellest, et tõkete endi jäikus ei ole tavaliselt küllalt suur. Jäiga tõkke abil seadmise viga on tavalistes tingimustes 20 ... 50 μm. Operatsiooni hoolika teostamisega võib kvalifitseeritud tööline selle vähendada kuni 10 ... 15 μm. Tõkke väikese jäikuse ja töölise madala kvalifikatsiooni korral võib seadmise viga kasvada 100 ... 130 μm. Indikaatoriga tõkete abil seadmise viga on tunduvalt väiksem ja asub vahemikus 10 ... 20 μm.

Etaloni järgi häälestamisel seatakse lõikeriista tavaliselt selles sihis, mis on kõige tähtsam etteantud mõõtme täpsuse kindlustamisel. Treipinkide gruppi kuuluvates tööpinkides töötlemisel on selliseks sihiks radiaalsiht, kuna see avaldab kõige suuremat mõju detaili diametraalmõõtmete täpsusele. Tera kõrguse sihis seadmise viga ei avalda märgatavat mõju läbimõõdule, kui viimane on küllalt suur. Väikese läbimõõduga (alla 5 mm) detailide treimisel on tera kõrguse sihis seadmise vea mõju diametraalmõõtmete täpsusele suur. Sel juhul tuleb tööpingi häälestamisel seada tera radiaalsihis ja kõrguse sihis. Häälestamise täpsusele avaldab mõningat mõju ka spindli telje suhtes tera plaanis seadmise nurga viga. Töötamisel teravatipulise teraga, millel $\varphi \approx \varphi'$, põhjustab tera spindli telje suhtes seadmise nurga viga Δ_β töödeldava raadiuse vähenemise suuruse

$$\Delta_y = \frac{s}{\sin(\varphi + \varphi')} \Delta_\beta^2$$

võrra, kus s — ettenihe mm/p.

Läbimõõdu muutus tekib siin detaili pinnal olevate mikrokonaruste kõrguse vähenemise tõttu.

Kui ühe teraga töödeldakse astmelist pinda hüdrokopeerpingis või tavalises tööpingis supordi järjestikulise nihutamisega tõketeni, siis suurema astme raadiuse hälve

$$\Delta_y = \Delta_z^2 \frac{D - d}{Dd},$$

kus Δ_z — tera seadmise viga kõrguse sihis tööpingi häälestamisel etaloni väikese astme järgi;

D ja d — detaili suure ja väikese astme läbimõõt.

Laiade teradega treimisel on vajalik arvestada tera seadenurkade viga z- ja y-telje suhtes. Sel juhul on töödeldava raadiuse hälbed

$$\Delta_y = \pm l \operatorname{tg} \Delta_\beta \text{ ja}$$

$$r = \frac{l^2 \operatorname{tg}^2 \Delta_\gamma}{4d},$$

kus l — pinna pikkus;

Δ_y — tera seadenurga viga y-telje suhtes.

Toodud näited tõestavad, et häälestuse täpsuse tõstmiseks ei ole piisav arvestada lõikeriista seadmise vigu ainult teostatava mõõtme sihis. Igal eri juhul on vajalik selgitada tööriista erinevates sihtides seadmise vigade mõju ja tööpingi häälestamisel arvestada kõige olulisemaid nendest.

Tööriista seadmise resulteeriva vea, mille järgi võib hinnata tööpingi häälestuse täpsust etteantud mõõtmele, saab leida igas sihis seadmise vigade summeerimisega.

Häälestuse täpsuse tõstmise ülesanne ei ole seotud mitte ainult tööriista häälestamise resulteeriva vea komponentide väljaselgitamisega, vaid ka nende summeerimise juhise kindlaksmääramisega. Et leida resulteerivat viga, peab teadma selle komponentide jagunemisseadusi, etaloni valmistamise ja paigaldamise vigade jagunemisseadusi ja samuti tööpingi nihutatavate osade fikseerimise vigu.

Suurem osa tööriista seadmise ja häälestamise resulteeriva vea komponentidest allub normaaljagunemisseadusele. Mõningase ekstsentrilisusega etaloni paigaldamisel tsentrite vahele määrab radiaalsihile taandatud vea jagunemise etaloni erinevate nurkasendite puhul arkussiinuse seadus. Etaloni kinnitamise puhul tsentreerivas padrunis, kui arvestada paigalduse muutlikku ekstsentrilisust, allub vea jaotus (spindli kindla asendi juures) Maxwelli seadusele. Kui seejuures seatakse tera spindli erinevate pöördenurkade juures, siis muutub jagunemine vastavaks normaaljagunemisseadusele, kuid hajumisväli on laiem.

Häälestamisvea üksikute komponentide jagunemisseaduste alusel võib iga erijuhu jaoks leida summaarse jagunemisseaduse. Kui antud summaarse jagunemisseaduse usaldatavuse aste on teada, siis on võimalik tööpingi häälestamise viga määrata põhjendatumalt kui valemi (48) järgi arvutamisel.

Selle meetodi kasutamiseks tööstuslikes tingimustes on vaja koostada praktilised tabelid.

Esitatu alusel võib teha järgmised järeldused.

Proovidetailide järgi häälestamine kindlustab suure täpsuse; viimast piiravad metoodilist ja metroloogilist laadi vead. Proovidetailide väikese arvu korral väheneb häälestustäpsus tunduvalt. Skaalaga mõõteriistade kasutamine kindlustab suurema häälestustäpsuse. Jäikade (piir- ja normaal-) kaliibrite kasutamisel on sama häälestustäpsuse saavutamiseks vaja suuremat arvu proovidetaile.

Häälestamine proovidetailide järgi on töömahukas. Masstootmisel kulub automaatides ja mitme teraga tööpinkides töötlemisel häälestamisele kuni 20% üldisest ajafondist. Automaatliinide jaoks

on see meetod ebasobiv. Meetodi puuduseks tuleb lugeda ka seda, et osa proovidetaile läheb praaki. See ei ole vastuvõetav suurte ja kallite detailide puhul. Proovidetailide järgi võib häälestada suhteliselt lihtsa seadistusega tööpinkides töödeldavate detailide väikeste mõõtmete puhul.

Etalonide järgi häälestamise töömaht on väiksem, see kindlustab seadmete ajaliselt täielikuma kasutamise. Täpsuse suhtes annab häälestamine etalonide järgi usaldatavaid ja stabiilseid tulemusi. Selle meetodi kasutamine ei ole seotud proovidetailide tarbetu kulutamisega. Etalonide järgi häälestamise eelised ilmnevad eriti mitme teraga seadistustega operatsioonidel. Etaloni järgi häälestamine ei ole seotud kõrge kvalifikatsiooniga häälestaja kasutamisega ja võib toimuda väljaspool tööpinki, kui on olemas vahetatavad tööriistade plokid, supordid või revolverpead.

Tööpingi geomeetrilised ebatäpsused. Iga metallilõikepink koosneb reast sõlmedest, mis kujutavad endast ühtse tehnoloogilise süsteemi üksikuid lülisid.

Ühed sõlmed on seotud töödeldava toorikuga, teised — lõikeriistaga. Tööpingi koostamise ebatäpsustest tingitud liikumatult kinnitatud või liikuvate sõlmede vastastikuse asendi vead on mehaanilise töötlemise hälvete tekkimise põhjuseks. See johtub sellest, et tööpingi sõlmede väär asend rikub tooriku ja tööriista suhtelise liikumise kindlaksmääratud seaduspärasust.

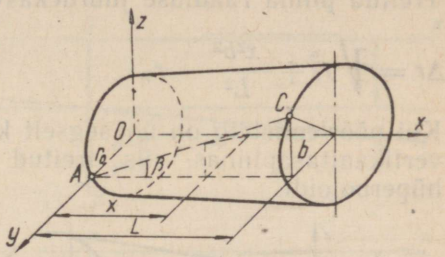
Tööpingi sõlmede vastastikuse asendi vead ehk lühidalt, tööpingi geomeetrilised vead mõjuvad detaili töödeldavate pindade kujule ja asetusele, kuid ei avalda vahetut mõju nende mõõtmetele. Peale tööpingi põhidetailide ebatäpse koostamise ja väära töötlemise võib tema geomeetriliste vigade põhjuseks olla ka kulumus.

Tööpinkide lubatud geomeetrilised vead on ära toodud nende vastuvõtu riikliku standardi täpsusnormides. Samades normides antakse täpsuse kontrollimise meetodid. Kontroll teostatakse tööpingi sõlmede koormamata olukorras ja liikumatus asendis või nende aeglasel käsitsi nihutamisel.

Mõnel juhul mõjutavad tööpingi geomeetrilisi vigu tema paigalduse ebatäpsused ja väär kinnitus vundamendil. Riiklikus standardis näidatud vead kehtivad uutele tööpinkidele. Remondist tulnud tööpinkide jaoks võetakse täpsusnormid mõnevõrra madalamad. Tööpingi täpsus mõjutab töötlemise täpsust, kuid neid mõisteid ei või samastada. Töötlemise täpsusnormid on alati madalamad vastavate tööpinkide täpsusnormidest.

Vaatleme näiteks treipingi tüüpi tööpinkide geomeetriliste ebatäpsuste mõju mehaanilise töötlemise hälvetele.

Padrunisse kinnitatud tooriku töötlemisel võib tekkida treitava silinderpinna koonilisus spindli pöörlemistelje ja sängi juhikute



Joon. 36. Skeem kujuhälbe arvutamiseks konsoolsel treimisel. Spindli telg ei ole vertikaaltasapinnas paralleelne sängi juhikutega

mitteparalleelsuse tõttu horisontaaltasapinnas. Kui pöörlemistelje kõrvalekalle pikkuse L kohta on a, siis saadav töödeldud pinna koonilisus

$$i = \frac{2a}{L}.$$

Pöörlemistelje kõrvalekaldumisel ainult vertikaaltasapinnas võtab treitud pind hüperboloidi kuju. Joonisel 36 kujutab telg OX tooriku pöörlemistelge. Sirge AC, tera liikumise trajektoor, on tasapinna XOY suhtes kaldu nurga β võrra:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{b}{L},$$

kus b — pöörlemistelje kõrvalekalle vertikaaltasapinnas pikkusel L.

Märgime treitud pinna raadiuse $x = 0$ juures r_0 ja leiame tema väärtuse muutuva x korral:

$$r = \sqrt{r_0^2 + x^2 \operatorname{tg}^2 \beta}.$$

Kui asendame $\operatorname{tg}\beta$ tema väärtusega, saame

$$r = \sqrt{r_0^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}}, \qquad (49)$$

mis osutub hüperbooli võrrandiks.

Seda on lihtne näidata, kui paneme r asemele y, s. t. mõõdame treitud pinna raadiust y-telje sihis.

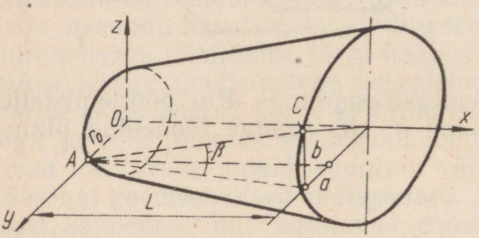
Peale teisendusi saame

$$\frac{y^2}{r_0^2} - \frac{x^2}{\left(\frac{r_0 L}{b}\right)^2} = 1.$$

Treitud pinna raadiuse juurdekasv

$$\Delta r = \sqrt{r_0^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}} - r_0. \qquad (50)$$

Kui pöörlemistelg on üheaegselt kõrvale kaldunud horisontaal- ja vertikaaltasapinnas, siis treitud pind kujutab endast samuti hüperboloidi.



Joon. 37. Skeem kujuhälbe arvutamiseks konsoolsel treimisel. Spindli telg ei ole vertikaal- ja horisontaaltasapinnas paralleelne sängi juhikutega

Joonisel 37 on telg *OX* tooriku pöörlemisteljeks ja joon *AC* — tera liikumise trajektooriks. Kui tähistame nagu varemgi *a* — pöörlemistelje kõrvalekalle horisontaal- ja *b* — vertikaaltasapinnas, siis treitud pinna raadius muutuva *x* korral

$$r = \sqrt{\left(r_0 + \frac{xa}{L}\right)^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}}. \qquad (51)$$

Treitud pinna raadiuse juurdekasv

$$\Delta r = \sqrt{\left(r_0 + \frac{xa}{L}\right)^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}} - r_0. \qquad (52)$$

Joonisel 38 on toodud treitud pinna moodustajate mitmesugused kujud: kui $b = 0$ ja $a \neq 0$; kui $a = 0$ ja $b \neq 0$ ning samuti kui $a \neq 0$ ja $b \neq 0$. Juhul kui $a = 0$ ja $b \neq 0$, on hüperboloidi väikseima pindalaga lõige tasapinnas *YOZ* ja vasakul sellest, kui $a \neq 0$ ja $b \neq 0$.[1]

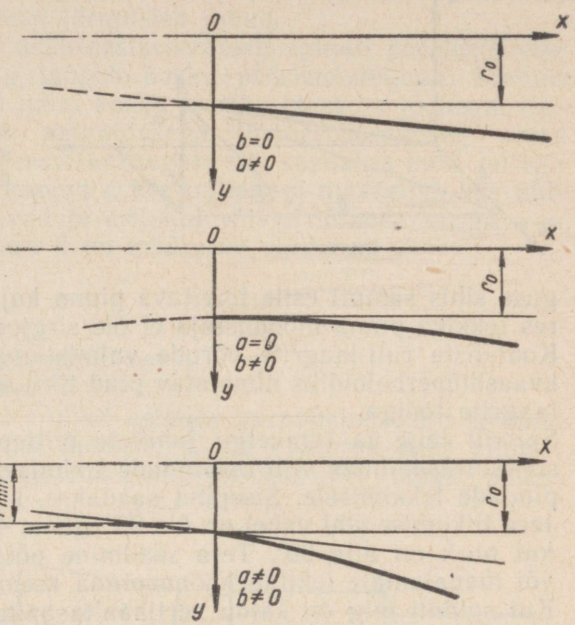
Kui silindrilise pinna asemel treitakse koonilist pinda, siis pöörlemistelje kõrvalekaldumisel horisontaaltasapinnas muutub treitava pinna koonilisus suuruse

$$i = \frac{2a}{L}$$

võrra.

---

[1] See on õige, kui $a > 0$, s. t. kui pöörlemistelje kõrvalekalle horisontaaltasapinnas eemaldab töödeldavat pinda lõikeriistast. Vastupidisel juhul olukord muutub. — *Tõlk.*

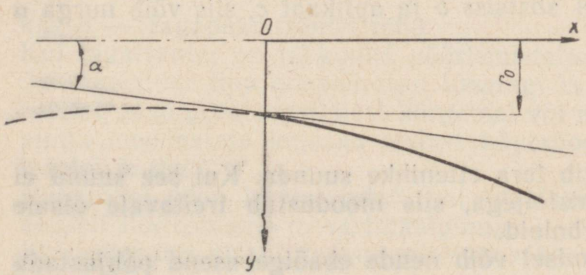


Joon. 38. Treitud pindade moodustajate mitmesugused kujud

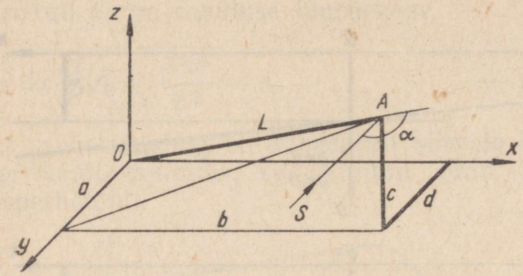
Kui pöörlemistelg kaldub kõrvale vertikaaltasapinnas või üheaegselt horisontaal- ja vertikaaltasapinnas, siis moodustub koonilise pinna asemel hüperboloid.
Treitud pinna raadius selle juhu jaoks muutuva x korral (joon. 39)

$$r = \sqrt{\left(r_0 + x \operatorname{tg} \alpha + x \frac{a}{L}\right)^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}}; \qquad (53)$$

siin α — nurk koonuse telje ja moodustaja vahel joonise järgi.
Treitud pinna raadiuse hälbe (juurdekasvu) saame, kui lahutame toodud võrdusest suuruse $r_0 + x \operatorname{tg} \alpha$.
Kooniliste pindade lihvimisel kutsub käia telje nihutamine kõr-



Joon. 39. Skeem kujuhälbe arvutamiseks koonuspinna treimisel



Joon. 40. Skeem kujuhälbe arvutamiseks otspinna treimisel

guse sihis samuti esile lihvitava pinna kuju moondumise; seejuures tekkiva pinna moodustaja ei ole sirgjooneline, vaid kumer.
Kooniliste rull-laagrite võrude valmistamisel moodustatakse see kvaasihüperboloidiks nimetatav pind tihti sihilikult, et suurendada laagrite tööiga.
Spindli telje ja terakelgu juhikute mitteperpendikulaarsus horisontaaltasapinnas viib otspindade treimisel välis- või sisekoonuspindade tekkimisele. Sisepind saadakse, kui nurk spindli telje ja tera liikumise sihi vahel on üle 90° (joon. 40); välispind saadakse, kui nurk on alla 90°. Tera seadmine pöörlemisteljest kõrgemale või madalamale tekitab koonuspinna asemel hüperboloidi.
Kui spindli telg on kaldu vertikaaltasapinnas, siis saadakse treitava tooriku otspind kõigil juhtudel tasapinnaline. Tera nihutamine kõrguse sihis ei põhjusta otspinna kuju moondumist.
Spindli telje üheaegne kõrvalekalle horisontaal- ja vertikaaltasapinnas põhjustab treitaval otsal koonuspinna tekke, kui tera liikumise trajektoor lõikub tooriku pöörlemisteljega. Nurk koonuse telje ja moodustaja vahel on sel juhul võrdne nurgaga spindli telje ja tera liikumise sihi vahel ehk spindli telje ja y-telje vahel. Kui on teada spindli pikkus $OA = L$, siis on lihtne punkti A ordinaadi a järgi määrata nurk α:

$$\cos \alpha = \frac{a}{L}.$$

Kui on teada punkti A abstsiss b ja aplikaat c, siis võib nurga α määrata avaldisest

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{b^2 + c^2}}{L}$$

Joon noolega S märgib tera ettenihke suunda. Kui see suund ei lõiku tooriku pöörlemisteljega, siis moodustub treitavale otsale koonuse asemel hüperboloid.
Tsentrite vahel töötlemisel võib nende ebaõige asend põhjustada

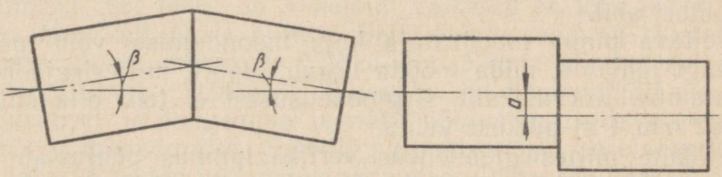
iseloomulikke kuju ja treitavate astmete vastastikuse asendi hälbeid. Praktiliselt esinevad järgmised juhud.

Esitsenter viskub, s. t. asub ekstsentriliselt spindli pöörlemistelje suhtes, tagatsentri telg langeb kokku pöörlemisteljega. Treitud pinna telg ei lange sel juhul kokku tooriku tsentrite joonega. Kui toorikut treitakse kahe paigaldusega (ümberpööramisega koos kaasavedaja rangi ümberasetamisega), siis saadakse kahe teljega detail. Kuna rangi nurkasend ei ole millegagi määratud, siis üldjuhul need teljed lõikuvad ja erijuhul võivad lõikuda nurga $\alpha = 180 - 2\beta$ all, kus nurk β on määratav võrdusest

$$\sin\beta = \frac{a}{L}.$$

Siin a — esitsentri ekstsentrilisus;
L — tsentrite vahe.

Võimalik on ka tooriku treitud astmete paralleelne, kuid suuruse a võrra nihutatud asetus. Joonisel 41 on näidatud kaks viimast juhtu, kui kummagi paigaldusega on treitud pool detaili pikkusest.



Joon. 41. Kujuhälbed treimisel tsentrite vahel kahe paigaldusega

Esitsenter on paigaldatud kontsentriliselt pöörlemisteljega, tagumine aga nihkunud horisontaaltasapinnas. Treitav silinderpind saadakse kooniline. Koonilisus

$$i = \frac{2a}{L},$$

kus a — tagapuki tsentri nihe.

Kui tagatsenter on nihkunud pöörlemisteljest tahapoole, siis saadava koonuse tipp on pööratud tööpingi esipuki poole. Kui tagatsenter asub pöörlemisteljest kõrgemal või madalamal, siis treitud pinna moodustaja kujutab endast hüperbooli, mille tipp on esitsentri juures.

Hüperbool tekib ka sel juhul, kui tagatsenter on nihkunud üheaegselt horisontaal- ja vertikaalpinnas.

Kui esitsenter viskub ja tagumine on nihkunud horisontaalpinnas,

siis ei tule kahe paigaldusega treitud võlli osad samatelgsed. Treitud silinderpindade kuju moondub koonilisuse tekkimise mõjul. Sõltuvalt tagatsentri nihkest ette- või tahapoole on koonuste tipud suunatud võlli otste või keskkoha poole.

Kui esitsenter viskub ja tagumine on nihkunud vertikaalpinnas või vertikaal- ja horisontaalpinnas, siis kahe paigaldusega töötlemisel ei tule treitud osad samatelgsed ja nende kuju moondub, kuna sirgjoonelise moodustaja asemel tekib hüperbool.

Kui üheaegselt viskuvad esitsenter ja pöörlev tagatsenter, siis kahe paigaldusega treitud võlli osad ei ole üldjuhul samatelgsed. Võrdse ekstsentrilisuse korral võivad need osad tulla samatelgsed erijuhul, kui tsentrite nihke pöördenurgad langevad kokku.

Täpsetel treipinkidel lubatakse tsentri viskumist kuni 0,01 mm. Esitsentri viskumise vähenemine saavutatakse tema lihvimisega peale treipingi spindlisse paigaldamist.

Astmete eritelgsust võib vältida, kui töödelda niinimetatud «seisvate» tsentritega tööpingis, s. t. tööpingis, milles esi- ja tagatsenter on liikumatud. Tagatsentri nihe horisontaal- ja vertikaalpinnas selgitatakse välja tsentrite vahele paigaldatud etalonvõlli ja indikaatori abil.

Treitava pinna moodustaja kuju moondumise võib põhjustada sängi juhikute, mida mööda liigub suport, mittesirgjoonelisus ja kulumus. Kõrvalekalle sirgjoonelisusest ei tohi olla suurem kui 0,02 mm 1 m pikkuse kohta.

Juhikute mittesirgjoonelisus vertikaalpinnas põhjustab läbimõõtude vähese muutumise piki töödeldavat toorikut. Samal ajal avaldab juhikute mittesirgjoonelisus horisontaalpinnas otsest mõju nende mõõtmete täpsusele. Juhikute kohalik kõverdumine kulumise tulemusena võib tuua kaasa kõverjoonelise moodustajaga töödeldud pinna tekkimise. Juhikute viidakus horisontaalpinnas tsentrite joone suhtes põhjustab treitud pinna koonilisuse. Juhikute ebaühtlane kulumus võib põhjustada treitava pinna kuju moondumise. Metallilõikepinkide Eksperimentaalses Teadusliku Uurimise Instituudis läbiviidud uurimised näitasid, et eesmine kolmnurkne juhik kulub 5 korda rohkem kui tagumine, lame. Juhikute suurima kulumisega piirkond asub 400 mm kaugusel spindli esiotsast. Kolmnurksel juhikul kulub kõige rohkem eesmine, töölisepoolne külg. Kahevahetuselise töö puhul individuaal- ja seeriatootmises oli selle kulum aastas: terasdetailide puhastöötlemisel 0,04 ... 0,05 mm; teras- (80%) ja malmdetailide (20%) puhastöötlemisel ja koorimisel 0,06 ... 0,08 mm; teras- (90%) ja malmdetailide (10%) koorimisel 0,10 ... 0,12 mm. Juhikute kulum on malmtoorikute töötlemisel suurem kui terastoorikute töötlemisel ja koorimisel suurem kui puhastöötlemisel. Selle põhjuseks on

suuremad erisurved ja tagi ning vormiliiv mahalõigatavas metallikihis. Juhikute kulumise intensiivsus sõltub tööpingi ajalisest koormustegurist. Masstootmises, kus see tegur on suhteliselt suur, toimub kulumine intensiivsemalt kui seeria- ja individuaaltootmise puhul.

Treitud pindade ebaümaruse põhjustab tööpingi spindli pöörlemistelje asendi muutumine töötlemisprotsessis. Kui spindel pöörleb liugelaagrites, siis suuruselt ja suunalt muutumatu lõikejõu mõjul surutakse ta ühele küljele, vastu laagripinna kindlat piirkonda. Sel juhul kandub spindli kaelte ovaalsus üle treitavale pinnale. Treitava pinna ristlõike kujuhälvete vähendamiseks peab spindli kaelte lubatav ovaalsus olema minimaalne. Tavalise täpsusega tööpinkide puhul lubatakse ovaalsust mitte üle 5 μm. Suurendatud täpsusega tööpinkides on ovaalsus väiksem ja on tihti mõõteriistade tundlikkuse piiril.

Laagrite kandva pinna ovaalsus avaldab töötlemise täpsusele vähem mõju. Ebapüsiva lõikerežiimi ja määrimise stabiliseerumata iseloomu korral, kui on võimalik üleminek vedelikuliselt hõõrdumiselt piirhõõrdumisele, võib spindel võtta laagris mitmesuguse (määramatu) asendi. Samasugust nähtust täheldatakse puhastreimisel. Sel juhul on lõikejõud väikesed ja lõtk laagrites ei koondu täielikult ühele küljele. Selle tulemusena on teostatavate diametraalsete mõõtmete hälbed 3...8 μm (diametraalsete lõtkude korral 0,01...0,02 mm). Laagrite ovaalsus spindli vahelduval tõusmisel ja langemisel nendes põhjustab treitava pinna kuju vastava moondumise. Spindli paigaldamisel veerelaagritele on suur tähtsus nende viskumise piiramisel, kuna see kandub üle treitavale pinnale. Treipinkide ja teiste metallilõikepinkide spindlite juures tuleb kasutada pretsisioonlaagreid ja need õigesti monteerida.

Lõikeriista valmistamise ebatäpsus. Mehaanilise töötlemise hälbed võivad olla põhjustatud mõõduliste ja kujulõikeriistade valmistamise ebatäpsusest.

Esimeste hulka kuuluvad sooneterad (näiteks soonte lõikamiseks kolvirõngaste jaoks), ketas- ja sõrmfreesid liistusoonte töötlemiseks, puurid, avardid, hõõritsad ja kammlõikurid; teiste hulka — kujuterad ja -freesid, spetsiaalsed kammlõikurid, keermelõikeriistad ja ka kujukäiad. Mõlemat tüüpi lõikeriistade töö põhineb kopeerimismeetodil, kuna lõikeriista mõõtmed ja profiil kantakse otseselt üle töödeldavale detailile.

Ketas- ja sõrmfreeside kasutamisel mõjutab lõigatavate soonte laiuse täpsust ka tööriista hammaste teljesuunaline ja radiaalne viskumine väära erituse või paigalduse tulemusena tööpingis.

Kopeeriva töötlemise kõige lihtsamad juhud esinevad ühe lõikeservaga lõikeriistade kasutamisel. Nende hulka kuulub näiteks

soonetera abil täisnurkse profiiliga rõngassoone lõikamine, mille laius peab täpselt vastama joonisele. Kui töödeldakse ühte toorikut, siis ei vasta lõigatud soone laius täpselt tera laiusele, vaid on sellest alati veidi suurem. Katsed näitavad, et laiuse erinevus on suhteliselt väike (0,01 ... 0,03 mm); see sõltub töödeldavast materjalist, lõikerežiimist ja tera nürinemise astmest ning on erinevatel detailidel erinev. Soone nominaallaiusest sõltuvad selle suuruse muutumise piirid vähe.

Seega individuaaltootmises mõjutab tera laiuse hälve otseselt detaili vastavat mõõdet.

Sama olukorda täheldatakse detailide partii töötlemisel tööriista ühe seadega (vahetusega). Erinevalt eelmisest juhust mõjutab siin siiski täiendavalt teostatava mõõtme hälvet tera mõõduline kulum. Kui detailide partii on küllalt suur ja töötlemine toimub mitme tera vahetusega, siis mõjub teostatava mõõtme hälbele veel täiendavalt tera mõõtme tolerants.

Keerulisem protsess esineb mitme lõikeservaga tööriistade kasutamisel. Vaatleme tööriista (näiteks puuri, hõõritsa jt.) ebatäpsuste mõju silindrilise ava töötlemishälbele.

Spiraalpuuridega puuritavate avade läbimõõdu täpsuse määravad puuri läbimõõdu tolerants ja avade lobestumisest tingitud hälbed. Spiraalpuuride läbimõõdu tolerantsid reglementeerib ГОСТ 885-64. Ava lobestumine tekib radiaalse lõikejõu tasakaalustamatusest puuri ebasümmeetrilise erituse puhul. Puurimissügavuse suurenemisel kasvab lobestus seoses sellega, et süsteemi puur-spindel radiaalne jäikus konsooli suureneva pikkuse tõttu kahaneb. Ava lobestumise teine põhjus seisneb puuri töötava osa ja tema saba eritelgsuses.

ГОСТ 2034-64 järgi lubatakse puuri töötava osa esiotsa viskumist saba suhtes järgmistes piirides: silindrilise sabaga puuridel läbimõõduga 3 ... 20 mm — 0,08 mm; koonilise sabaga puuridel läbimõõduga kuni 20 mm — 0,12 mm; koonilise sabaga puuridel läbimõõduga 20 kuni 50 mm — 0,15 mm; koonilise sabaga puuridel läbimõõduga üle 50 mm — 0,18 mm.

Puuri saba ja töötava osa eritelgsust on raske kõrvaldada, kuna puuride valmistamisel töödeldakse neid eri tööpinkides.

Avade lobestumine puurimisel võib olla tingitud mitte ainult lõikeservade nurkasendi erinevusest puuri telje suhtes, vaid ka nende erinevast asendist kõrguse sihis. Sel juhul tuleb lõikesügavus kummalgi lõikeserval erinev, mille tagajärjel tekib tasakaalustamata radiaaljõud.

Ava lobestust saab vähendada, kui lähtada puur teritamisel mitte tema töötava osa järgi (nagu seda enamikul juhtudel tehakse), vaid saba järgi. Sel juhul on kindlustatud lõikeservade asetuse suurem sümmeetrilisus puuri pöörlemistelje suhtes.

Ava läbimõõdu täpsus sõltub ka puuri vastukoonilisusest. Viimase väärtuse reglementeerib ГОСТ 2034-64. Nii on puuridel läbimõõduga üle 18 mm vastukoonilisus piirides 0,05...0,1 mm iga 100 mm pikkuse kohta. Rea järjestikuste erituste tulemusena väheneb puuri pikkus ja järelikult ka läbimõõt.

Avade puurimine läbi konduktorpukside kindlustab nende läbimõõdu suurema täpsuse. Sel juhul mõjub erituse ebasümmeetrilisus ja puuri elementide eritelgsus avade lobestumisele vähem. Puuri vastukoonilisus vähendab mõnevõrra konduktorpukside sellist mõju, kuna puurimissügavuse suurenemisega lõtk tööriista ja puksi vahel kasvab. Tööstuslikud vaatlused näitavad, et tavaliste (mittesügavate) avade puurimisel ilma konduktorpuksita nende läbimõõdu hälve suureneb keskmiselt 50% võrra.

Puurimine läbi konduktorpukside kindlustab ava telje asendi suure täpsuse. Puuri juhtimise täpsus sõltub sel juhul lõtku suurusest tööriista ja puksi ava vahel ning samuti puksi pikkusest. Kui puuri läbimõõdu tolerants vastab ГОСТ 885-64 ja ava puksis on valmistatud liike- (X) või käigu-istu (Д) järgi (et kompenseerida tööriista soojuslikku paisumist lõikeprotsessis), saadakse siiski suhteliselt suur lõtk. Puuri juhtimise täpsuse suurendamiseks võib ava puksis valmistada liug-istu (C) järgi. Seda kasutatakse täpse paigutusega avade puurimiseks tingimustes, mis väldivad tööriista liigse kuumenemise töötamisel ja tema sööbimise puksis.

Puuride juurutamine, millel on kruvijoonelised kanalid jahutusvedeliku viimiseks lõiketsooni, soodustab väiksemate lõtkudega pukside kasutamist. Juhtimise täpsuse suurendamiseks on otstarbekas vähendada puuride läbimõõdu tolerantsi või sorteerida gruppi väiksema läbimõõdu hälbega puurid.

Puuri juhtimise täpsust võib suurendada konduktorpuksi pikkuse suurendamisega. Puksis juhitakse puuri mitte kogu silindrilise pinna, vaid kahe kruvijoonelise juhtriba kaudu. Puksi ebapiisava pikkuse korral on võimalik puuri viidakus suurendatud lõtku tõttu laastusoonte kohal. Pikkade pukside kasutamine, mille pikkus võrdub puuri kruvijooneliste soonte sammuga, suurendab juhtimise täpsust.

Ava telje asendit mõjutab ka puuri vastukoonilisus. Teritamisel puur lüheneb, tema läbimõõt väheneb ja lõtk puuri ning puksi vahel kasvab.

Avardamisel mõjutavad töötlemise täpsust samad tööriista valmistamise hälbed, mis puurimiselgi. Avardatud avade läbimõõdu täpsuse määrab avardi mõõtme tolerants ja töödeldavate avade lobestumine. Avardi läbimõõdu tolerants määratakse tavaliselt sõltuvalt avardatava ava läbimõõdu tolerantsist. Tolerantsid avardite valmistamiseks määrab ГОСТ 3231-55.

Joonisel 42 on toodud tolerantsiväljade asetuse skeem avardite

valmistamiseks, mis on varustatud kõvasulamplaatidega ning ette nähtud avade töötlemiseks teras- ja malmtoorikutes.
Avardi suurim piirläbimõõt määratakse valemiga

$$d_{max} = d_{min} + kA,$$

kus d_{min} — avardatava ava vähim piirläbimõõt;
A — avardatava ava läbimõõdu tolerants;
k — tegur, mis sõltub töödeldavast materjalist; terasele $k = 0{,}7$, malmile $k = 0{,}6$.

Tabelis 4 on toodud avardi läbimõõdu tolerantsi δ_t väärtused olenevalt töödeldavate avade täpsusklassist ja läbimõõtude vahemikust.
Avardite erituse vead põhjustavad lõikeservade ebasümmeetrilise asendi pöörlemistelje suhtes. Selle tulemusena tekib tasakaalustamata lõikejõud, mis, nagu puurimiselgi, kutsub esile töödelda-

Tabel 4

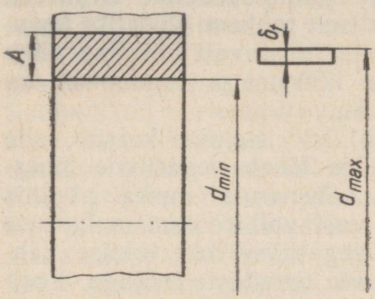
Avardi läbimõõdu tolerantsid mm

Läbimõõtude vahemik mm	Täpsusklass 4	5	7
Kuni 18	0,018	0,027	0,035
18...30	0,021	0,033	0,045
30...50	0,025	0,039	0,050
50...80	0,030	0,046	0,060

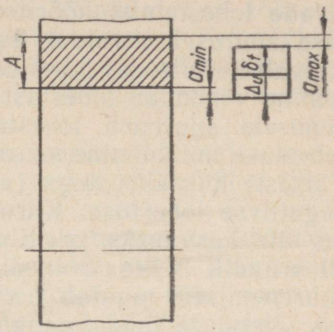
Tabel 5

Hõõritsa läbimõõdu tolerantsid

Tolerantsi elemendid	Täpsusklass	Hõõritsa nimiläbimõõt 1...3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120
		Tolerantsi suurus							
Lobestuse maksimaalne suurus a_{max}	1	5	7	9	10	12	14	16	18
	2	7	9	11	12	14	16	18	20
Hõõritsa valmistamise tolerants δ_t	1	5	8	10	10	10	15	15	20
	2	10	12	15	15	15	20	20	25



Joon. 42. Avardi valmistamise tolerantsivälja asetuse skeem



Joon. 43. Hõõritsa valmistamise tolerantsivälja asetuse skeem. Δ_u — hõõritsa kulum läbimõõdu kohta ekspluatatsioonis

vate avade lobestumise. Avade lobestus suureneb lõikekiiruse, ettenihke, lõikesügavuse, töödeldava materjali kõvaduse ja vastukoonilisuse kasvamisel. Avade lobestuse vähenemist täheldatakse peanurga plaanis, taganurga ja süsteemi jäikuse suurenemisel. Avardite vastukoonilisus võetakse piirides 0,06 ... 0,10 mm 100 mm kohta.

Konduktorpukside kasutamisel suureneb avardatavate avade läbimõõdu täpsus nende lobestuse vähenemise tagajärjel. Mustades toorikutes (stantsitud, valatud) avardatavatel avadel väheneb samuti telje külisjooks, sest konduktorpuks takistab tööriista elastset lüket ebaühtlase töötlemisvaru puhul nihkunud teljega avades. Kui avardamine toimub vahetult peale puurimist tooriku ühe kinnitusega, siis konduktorpuksi kasutamine ei vähenda telje külisjooksu.

Nagu puurimiselgi sõltuvad avardamise põhilised hälbed lõtkust tööriista ja konduktorpuksi vahel. Mida väiksem on see lõtk, seda väiksemad on ava hälbed.

Avardamine jaotatakse eel- ja puhasavardamiseks. Eelavardamist kasutatakse valatud või sepisesse stantsitud avade töötlemiseks. Puhasavardamist kasutatakse peale eelavardamist või puurimist. Peale puhasavardamist võib 2 ... 3 täpsusklassi avasid hõõritseda.

Avade hõõritsemisel sõltub nende läbimõõdu täpsus suuresti tööriista mõõtme tolerantsist. Toorikute töötlemiseks avasüsteemis ettenähtud hõõritsa läbimõõdu tolerantsi asetuse skeem on näidatud joonisel 43. Tabelis 5 on toodud hõõritsa mõõtme tolerantsid δ_t.

Avade lobestumist hõõritsemisel on uuritud ebapiisavalt. Lobestuse suurusele avaldab tugevat mõju jahutusvedelike kvaliteet. Kuivalt hõõritsedes lobestub ava suhteliselt rohkem. Vedelike kasutamine vähendab lobestust 2...4 korda. Vastavalt hõõritsa nürinemisele suureneb lobestus. Terava hõõritsaga lõikamisel on lobestuse minimaalne suurus piirides 5...10 μm.

Väikeste lõikekiirustega ($v < 3$ m/min) hõõritsemine kutsub esile negatiivse lobestuse. Kiiruse suurenedes läheb negatiivne lobestus üle kasvavaks positiivseks. Kui vähendada nurka plaanis 20 kraadilt 5 kraadini, siis lobestus vastavalt töötamise kestuse suurenemisele muutub negatiivseks. Negatiivse lobestumise nähtus seletub töödeldava materjali elastsete omaduste mõjuga. Positiivset lobestumist mõjutab terakasvaja ja kõige peenemate metalliosakeste kleepumine hõõritsa juhtribale.

Käesoleval ajal ei ole küllalt täielikke andmeid konduktorpukside mõju kohta hõõritsemise täpsusele. Et ava telje asendit on raske parandada, hõõritsetakse tihti ilma puksideta ja tööriista ujuva kinnitusega.

Tõmbekammi lõikehammaste läbimõõdu tolerants võetakse ümarate avade kammlõikamisel piirides $\pm 1/2$ hamba tõusust, aga mitte üle $\pm 0{,}02$ mm. Kalibreerivate hammaste läbimõõdu tolerants võetakse võrdseks $1/3$-ga lõigatava ava tolearntsist, aga mitte rohkem kui liug-istu (C) hälve OCT 1012 järgi. Näidatud tolerantsidest kinnipidamine kindlustab töötlemise täpsuse 2. klassi piirides.

Tehnoloogilise süsteemi soojuslikud deformatsioonid. Tehnoloogiliste süsteemi soojuslikud deformatsioonid avaldavad tugevat mõju viimistlustöötlemise täpsusele.

Soojuslike deformatsioonide üldine iseloomustus. Mehaanilise töötlemise protsessis toimub tehnoloogilise süsteemi soojenemine, töö vaheaegadel aga selle jahtumine. Soojenemise allikateks on lõiketsoonis tekkiv soojus, pingi sõlmedes hõõrdekadude arvel eralduv soojus ja soojus välistest allikatest.

Süsteemi soojuslik olukord võib olla statsionaarne või mittestatsionaarne. Statsionaarse soojusliku olukorra puhul on süsteem soojuslikult tasakaalus — soojuse juurdevool on koguseliselt võrdne tema kadudega. Sel juhul on tehnoloogilise süsteemi üksikute lülide temperatuur ajas muutumatu. Statsionaarsele soojuslikule olukorrale läheneb väikeste toorikute töötlemise protsess tööpingis, millel on lõppenud esialgne soojenemisperiood hõõrdumisel tekkiva soojuse ja lõiketsoonist ärajuhitava jahutusvedeliku joa mõjul. Puhtal kujul seda olukorda ei esine, kuna välistingimused, mis määravad soojuse äravoolu süsteemist, on ajas muutuvad.

Mittestatsionaarset soojuslikku olukorda täheldatakse tööpingi käivitamise perioodil peale tema pikaajalist seismist. Kui rääkida mitte kogu süsteemist, vaid üksikust toorikust, siis võib igasuguse lõikeprotsessi lugeda mittestatsionaarseks, kui lõikamisel eralduv soojus soojendab toorikut märgatavalt.

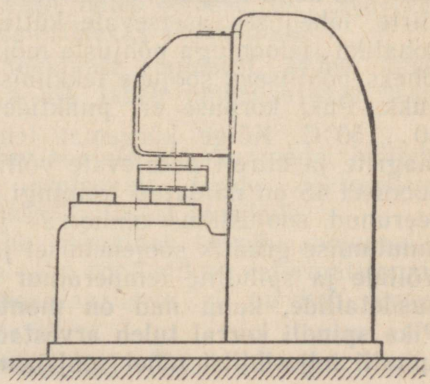
Soojuslikud perioodid avalduvad üksiku tooriku töötlemise kestuses, vahetuse kestuses (või ööpäevas) ja aastas, mille vältel täheldatakse tsehhi temperatuuri kõikumist.

Kõigi soojuseralduste ja -kadude täpne arvestamine on keerukas. Et lihtsustada soojuslike deformatsioonide mõju selgitamist mehaanilise töötlemise täpsusele, võib tööpingi töös vaadelda kahte perioodi: tööpingi käivitamise algusest kuni süsteemi soojusliku tasakaalu saavutamiseni — mittestatsionaarse soojusliku olukorra periood ja edasi kuni töötlemise lõpetamiseni — statsionaarse soojusliku olukorra periood.

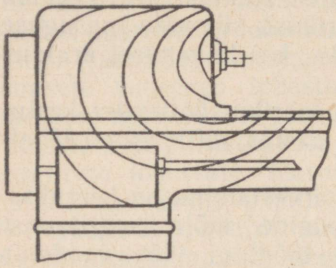
Vaatleme eraldi soojenemise iseloomu, tehnoloogilise süsteemi üksikute elementide soojuslikke deformatsioone ja nende mõju töötlemistäpsusele.

T ö ö p i n g i s o o j u s l i k u d d e f o r m a t s i o o n i d. Tööpingi säng, korpusdetailid (spindlipuksid, töölauad) ja teised detailid soojenevad hõõrdekadude arvel mehhanismides, hüdroajamites ja elektriseadmetes. Suur kogus soojust kandub üle jahutusvedelikult, mis eemaldab soojust lõiketsoonist ja samuti sisseehitatud elektrimootoritelt. Samal ajal tuleb arvestada soojusülekannet välisest, tööpinki ümbritsevast keskkonnast.

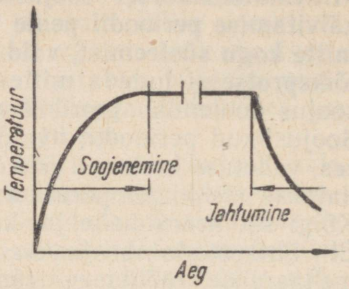
Säng soojeneb loetletud soojusallikate mõjul enamikul juhtudel ebaühtlaselt: mõned sängiosad soojenevad rohkem kui teised. See on tingitud elektrimootorite, elektripumpade, õli- ja jahutusvede-



Joon. 44. Lihvpingi sängi soojusliku deformatsiooni skeem



Joon. 45. Treipingi temperatuuriväli



Joon. 46. Temperatuuri muutumise graafik tööpingi soojenemisel ja jahtumisel

liku mahutite ning teiste soojusallikate ebaratsionaalsest paigutusest.

Sängi üksikute elementide temperatuuri erinevus võib ulatuda kuni 10° C. Niisugustes tingimustes kaotab säng oma õige kuju ja tööpingi põhiliste sõlmede vastastikune asetus sellel muutub. Joonisel 44 on punkt-kriipsjoonega näidatud lihvpingi sängi soojusliku deformatsiooni skeem tema soojenemise tulemusena sisseehitatud elektrimootori mõjul. Sängi keeruka konstruktsioonilise kuju korral on soojuslike deformatsioonide arvutamine töömahukas ja kasutatavate lihtsustuste tõttu tinglik. Tööpinkide uute konstruktsioonide viimistlemisel tuleb pöörata tähelepanu sängi temperatuurivälja ühtlustamisele ja nende paremale jahutamisele.

Sängi ühepoolne soojenemine võib olla soojusülekande tagajärjeks vundamendist ja pinnasest. Viimaste temperatuur kõigub väikeses ulatuses ööpäeva jooksul ja tugevasti aasta vältel.

Sängi ja kogu tööpingi ebaühtlane soojenemine tekib tihti päikesekiirte, läheduses asetsevate kütteseadmete, õhuvoolude ja teiste kohaliku iseloomuga põhjuste mõjul.

Üheks põhiliseks soojuse tekkimise allikaks tööpingis on spindlipukk. Puki korpuse eri punktide temperatuur muutub piirides 10...50° C. Kõige kõrgemat temperatuuri täheldatakse spindli laagrite ja kiirelt pöörlevate võllide laagrite piirkonnas.

Joonisel 45 on näidatud treipingi esipuki temperatuuriväli stabiliseerunud soojuslikus olukorras ja joonisel 46 — temperatuuri muutumise graafik soojenemisel ja jahtumisel.

Võllide ja spindlite temperatuur on 30...40% kõrgem kui korpusdetailide, kuhu nad on monteeritud, keskmine temperatuur. Pika spindli korral tuleb arvestada töötlemise täpsusele mõjuvat spindli teljesihilist nihet soojenemise mõjul. Kui spindel on telje

sihis fikseeritud tagumise laagriga, siis pikkuse L ja korpuse ning spindli temperatuuride vahe Δt korral on padruni teljesihiline paigutus.

$L = \alpha L \Delta t$,

kus α — termilise joonpaisumise tegur.

Kui võtame konkreetsel juhul $L = 800$ mm, $\Delta t = 10°$ ja $\alpha = 0{,}000012$, siis saame $\Delta L = 0{,}1$ mm. Leitud suurus võib häälestatud tööpingis töötlemisel põhjustada üsna suure töötlemishälbe, kui seda ei kompenseerita tööpingi perioodilise järelhäälestamisega.

Spindlipuki suhteliselt suur soojenemine toob kaasa spindli telje asendi muutumise. Näiteks treipingi esipuki spindel võib nihkuda vertikaal- või horisontaaltasapinnas mitu sajandikmillimeetrit.

Tugev mõju töötlemise täpsusele on ettnihkekruvide deformatsioonil. Selle deformatsiooni vähendamiseks tuleb kruvid kaitsta soojuslike mõjutuste eest ja teha nad võimalikult lühikesed. Kruvi pikkuse mõju on suur lihvpingi puki liikumise täpsusele. Ebaõnnestunud konstruktsioonides, kus kruvi töötava osa pikkus on suur, võib hälve ulatuda 0,03 ... 0,05 mm.

Töödeldavate toorikute soojuslikud deformatsioonid. Peale tööpingi soojuslike deformatsioonide mõjutavad mehaanilise töötlemise täpsust ka töödeldavate toorikute soojuslikud deformatsioonid. Viimased soojenevad soojuse eraldumise tagajärjel lõikeprotsessis. Arvukad uurimised on näidanud, et põhiline kogus soojust akumuleerub laastus. Töödeldavasse toorikusse läheb väike kogus soojust. See väide on õige niisuguste töötlemismeetodite puhul nagu treimine, freesimine, hööveldamine, sisetreimine ja välispindade kammlõikamine. Niisuguste meetodite puhul nagu puurimine on soojuse jaotus erinev: suurem osa sellest jääb toorikusse.

Treimisel läheb laastu 50 ... 86% soojusest, suurtel lõikekiirustel aga kuni 90%. 10 ... 40% soojusest läheb terasse; 3 ... 9% jääb toorikusse ja umbes 1% hajub ümbritsevas keskkonnas.

Puurimisel läheb laastu 28% tekkivast soojusest, 14,5% läheb puuri, 52,5% jääb toorikusse ja 3% läheb ümbritsevasse keskkonda.

Erijuhtudel võib toorikus neelduv soojushulk suureneda. Näiteks malmtoorikutes horisontaalselt asetsevate avade sisetreimisel koguneb laast avasse ja annab osa soojusest toorikule.

Jahutusvedeliku ohter kasutamine võimaldab tooriku soojenemist praktiliselt vältida. Sel juhul on selle soojuslikud deformatsioonid tühised ja nende mõju töötlemise täpsusele ei tarvitse arvestada.

Kõige lihtsam ülesanne — tooriku soojuslikust deformatsioonist

tingitud töötlemishälbe määramine — lahendatakse eeldusel, et tooriku temperatuuriväli on konstantne. Selle eelduse võib lugeda küllalt täpseks, kui tooriku pinda töödeldakse mitme läbimiga, mitme järjestikuse siirdega ja samuti mitme lõikeriistaga (ühe astme mitme teraga treimine), mille tulemusena saadakse soojuse ühtlane jaotus.

Tooriku keskmise soojenemise (temperatuuri tõusu) võib määrata tooriku poolt saadud lõikamissoojuse jagamisel tema soojusmahtuvusega:

$$t = \frac{Q}{C\gamma V} \text{ deg},$$

kus C — tooriku materjali erisoojus J/(kg · deg) (kcal/kg · deg);
γ — tooriku materjali tihedus kg/m³;
V — tooriku maht m³.

Temperatuurse paisumise (deformatsiooni) meid huvitava mõõtme L suunas võib määrata valemiga

$$\Delta L = \alpha L t,$$

kus α — tooriku materjali joonpaisumistegur.

Näide. Kahespindlilises vertikaalpuurpingis, mis on varustatud kolmepositsioonilise pööratava töölauaga (üks positsioon on laadimiseks), puuritakse ja seejärel hõõritsetakse ava malmpuksis mõõtmetega $D = 40$ mm, $d = 20$ mm ja $L = 40$ mm. Määrata, kui palju väheneb hõõritsetud ava läbimõõt peale puksi jahtumist ümbritseva keskkonna temperatuurini. Spindli pöörete arv $n = 210$ p/min; ettenihe $s = 0{,}36$ mm/p; võimsus spindlil $N = 956{,}8$ W (1,3 hj).

Lahendus. Puurimisel tekkiv soojushulk

$$Q = \frac{75 N t_0 60}{427} \text{ kcal},$$

kus t_0 — põhiaeg puurimisel;

$$t_0 = \frac{L}{ns} = \frac{40}{310 \cdot 0{,}36} = 0{,}5 \text{ min},$$

järelikult

$$Q = \frac{75 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}5 \cdot 60}{427} = 6{,}85 \text{ kcal ehk } 27{,}4 \text{ kJ}.$$

Loeme, et toorikusse läheb 50% tekkivast soojusest:

$$Q' = 0{,}5Q = 3{,}42 \text{ kcal ehk } 13{,}7 \text{ kJ}.$$

Tooriku maht

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} L = \frac{3{,}14(4^2 - 2^2)}{4} 4 = 38 \text{ cm}^3.$$

Kui malmi tihedus $\gamma = 7600$ kg/m³ ja tema erisoojus $C = 440$ J/(kg · deg) (0,11 kcal/(kg·deg), siis tooriku temperatuuri tõus soojenemisel

$$t = \frac{13\,700}{440 \cdot 7600 \cdot 0{,}000038} = 107 \text{ deg.}$$

Määrame teostatava mõõtme hälbe, arvestamata tooriku soojenemist hõõritsemisel:

$$\Delta d = 0{,}000012 \cdot 20 \cdot 107 = 0{,}026 \text{ mm.}$$

Leitud suurus on kõrvutatav 2. täpsusklassile vastava tolerantsiga. Et vähendada temperatuurset deformatsiooni, tuleb kasutada vahendeid tooriku jahutamiseks enne ava hõõritsemist.

Rea praktiliste juhtude analüüsist võib järeldada, et massiivsete toorikute soojuslikud deformatsioonid on väikesed ja nende mõju töötlemise täpsusele võib jätta arvestamata, eriti töödeldava pinna väikeste mõõtmete puhul. Õhukeseseinaliste ja suhteliselt suure töödeldava pinnaga toorikute soojuslikud deformatsioonid võivad ulatuda suurusteni, mis on kõrvutatavad 2. täpsusklassile vastavate tolerantsidega. Soojuslike deformatsioonide mõju töötlemise täpsusele on suurem sisepindade töötlemisel, kus rohkem soojust neeldub toorikus.

Tooriku mittestatsionaarse temperatuurivälja puhul on soojusliku deformatsiooni arvutused keerulisemad. Täiendavad raskused tekivad veel seetõttu, et soojusallikas (lõiketsoon) liigub pidevalt piki töödeldavat pinda.

Kui temperatuuriväli on mittestatsionaarne, tooriku materjal isotroopne, soojusjuhtivuse tegur λ, tihedus γ ja erisoojus C muutumatud ning tooriku materjalis ei toimu agregaatoleku muutusi, siis võib soojenemisprotsessi väljendada soojusjuhtivuse võrrandiga osatuletistega teist järku lineaarse diferentsiaalvõrrandi kujul:

$$a\nabla^2 t = \frac{\partial t}{\partial \tau},$$

kus $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ ja $\nabla^2 t$ — Laplace'i operaator ehk funktsiooni t teist järku diferentsiaalne parameeter;

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \text{ deg/cm}^2.$$

Selles võrrandis on sõltumatuteks muutujateks aeg τ ja kolm ruumi koordinaati; sõltuvaks muutujaks — temperatuur t.

Avaldist a, mis iseloomustab välja eri punktide temperatuuri ühtlustumise kiirust, nimetatakse temperatuuri erijuhtivuseks ja tema dimensioon on m²/s.

Pöördkehade puhul on mugavam toodud võrrand avaldada silinderkoordinaatides:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right).$$

Ühemõõtmelise soojusvoo puhul, kui temperatuuriväli sõltub ainult ühest koordinaadist x, võtab soojusjuhtivuse võrrand kuju

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}.$$

Selle võrrandi integreerimise ja järgneva teisendamise tulemusena võib saada avaldise aja määramiseks, mille vältel soojusallikast kaugusel x asuva punkti temperatuur tõuseb etteantud väärtuseni:

$$\tau = \frac{x^2}{a}\Phi\left(1 - \frac{t_x}{t_a}\right), \qquad (54)$$

kus t_x — temperatuur vaadeldavas väljapunktis;
t_a — temperatuur soojusallika asukohas.

Suuruste $\frac{t_x}{t_a}$ ja $\Phi(1 - \frac{t_x}{t_a})$ vaheline olenevus on antud tabelis 6.

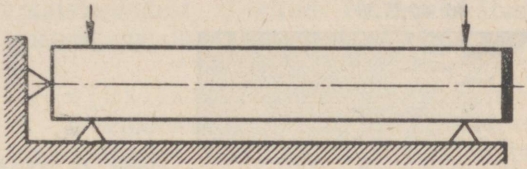
Tabel 6

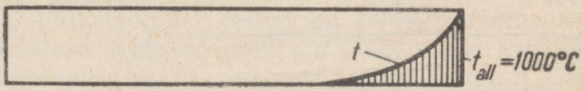
Suurused ühemõõtmelise temperatuurivälja arvutamiseks

$\frac{t_x}{t_a}$	$\Phi(1-\frac{t_x}{t_a})$	$\frac{t_x}{t_a}$	$\Phi(1-\frac{t_x}{t_a})$	$\frac{t_x}{t_a}$	$\Phi(1-\frac{t_x}{t_a})$
1,0	0	0,6	1,8	0,2	0,3
0,9	26,7	0,5	1,14	0,1	0,18
0,8	7,5	0,4	0,7	0	0
0,7	3,5	0,3	0,47		

Vaatleme näitena ülesannet prismaatilise tooriku soojuslikust deformatsioonist tingitud pikkushälbe määramiseks. Toorik paigaldatakse rakises lähteotspinnaga vastu tõket; teist otspinda lihvitakse kuni kindla pikkusmõõtmeni (joon. 47). Tooriku pikkus $L = 200$ mm; materjal — teras; lihvimisprotsessi kestus $\tau = 20$ s. Pinnakihi temperatuur töötlemistsoonis $t_a = 1000°$ C; soojuskaod ümbritsevasse keskkonda ja rakise tugedesse jätame arvestamata.

Valemi (54) abil leiame temperatuuri t_x erinevates lõigetes piki toorikut. Temperatuuri erijuhtivuse võib terase jaoks lugeda võrd-





Joon. 47. Otspinna lihvimise skeem ja temperatuuriväli piki toorikut

seks $a = 16 \cdot 10^3$ m²/s (0,16 cm²/s). Kui anda ette mitmesuguseid x väärtusi $\tau = 20$ s juures, võib leida suuruse $\Phi(1 - \frac{t_x}{t_a})$ vastavad väärtused. Tabeli 6 järgi leiame suhte $\frac{t_x}{t_a}$. Pidades silmas, et vastavalt ülesande tingimustele $t_a = 1000°$ C, määrame iga lõike jaoks temperatuuri t_x.

Arvutuse tulemused on näidatud joonisel 47. 20 sekundi jooksul ei jõua soojus levida tooriku lähteotspinnani.

Tooriku temperatuurse pikenemise võib leida valemiga

$$\Delta L = \alpha \int_0^L t_x \, dx.$$

Meie juhul ei ole t_x sõltuvus x-ist väljendatud analüütilisel kujul, seepärast tuleb kasutada graafilist või arvulist integreerimist. Integraalialuse avaldise võib määrata ka temperatuuri kõvera (joon. 47) ja abstsisstelje vahelise pindala leidmisega.

Vaadeldava näite puhul $\Delta L = 0{,}25$ mm. Selle suuruse võrra on toorik peale jahtumist lühem.

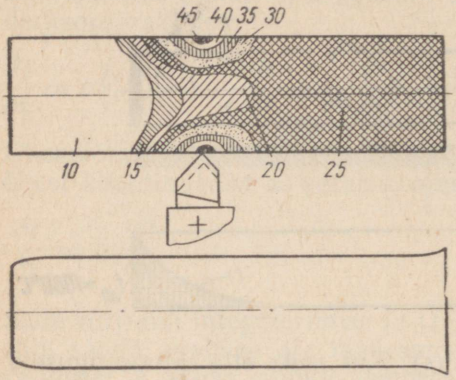
Lausmaterjalist silindrilise tooriku treimisel soojeneb ta aeglaselt piki telge liikuvast rõngakujulisest soojusallikast. Soojusallika liikumise kiirus võrdub pikitreitera minutilise ettenihkega.

Töötlemisprotsessis täheldatakse kolme perioodi soojuse levimises ja tooriku soojuslike deformatsioonide tekkimises.

Esimest perioodi iseloomustab tooriku suhteliselt vähene soojenemine, kuna tera ees olevad metallikihid on külmad.

Teisele (stabiliseerunud) perioodile on iseloomulik see, et tera ees liigub ennetav soojuslaine. Seoses sellega soojuslikud deformatsioonid kasvavad kuni teatava tasemeni ja jäävad muutumatuks suuremal osal detaili pikkusest. Tera taga, teataval kaugusel sellest stabiliseerub konstantne temperatuuriväli.

Kolmandale (lõpetavale) töötlemise perioodile on iseloomulik too-



Joon. 48. Töödeldava tooriku temperatuuriväli ja tooriku pinna kuju pärast töötlemist

riku järelejäänud piirkonna temperatuuri tõus soojuslaine peegeldumise tõttu vasakult otspinnalt. Soojuslikud deformatsioonid sellel etapil kasvavad.

Joonisel 48 on näidatud temperatuuriväli töödeldava tooriku materjalis. Samas on skemaatiliselt näidatud treitud detaili moodustaja kuju peale detaili jahtumist ümbritseva keskkonna temperatuurini. Detaili läbimõõdu määramiseks erinevates lõigetes võib arvutamisel lähtuda konstantsest temperatuuriväljast ja viia sisse parandustegur k_m. Kui $x = 0$, siis $k_m = 0$, kuna detail ei ole veel soojenenud; detaili keskmise osa töötlemisel $k_m = 0{,}6 \ldots 0{,}7$; töötlemise lõpuks saavutab k_m väärtuse $2{,}0 \ldots 2{,}8$ (otspinna vahetus läheduses).

Detaili soojenemisest tingitud pikenemise määramisel võib lugeda temperatuurivälja konstantseks.

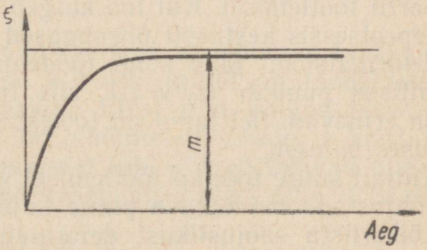
Suuri soojuslikke deformatsioone täheldatakse pikkade detailide, nagu liistud, latid, aga samuti plaadid ja tahvlid, ühelt küljelt töötlemisel.

Töödeldavate detailide soojuslikke deformatsioone võib vähendada: 1) rohke jahutusvedeliku andmisega lõiketsooni; 2) lõikekiiruse tõstmisega, mille tulemusena suur osa soojusest läheb laastu; 3) detaili suurema ja väiksema soojenemisega operatsioonide vaheldamisega; 4) varem detailidesse kogunenud soojuse eemaldamisega küllalt kestva hoidmise abil transportvahendis või eriti selleks otstarbeks ettenähtud jahutusseadmes; 5) detailide lihvimisega suure läbimõõduga käiadega; 6) detailide kinnitamisega soojusliku deformatsiooni ühesuunalise kompensatsioonivõimalusega (vedru- või pneumoseadise kasutamine tagatsentri kinnisurumiseks treimisel). Sel juhul on välditud nõtkumine, kaardumine ja teised ebajäikade detailide deformatsioonid soojuslike pingete mõjul.

Soojuslikest deformatsioonidest tingitud töötlemishälvete mõju võib vähendada nende ratsionaalse jaotamisega detaili tolerantsiväljas.

Lõikeriista soojuslikud deformatsioonid. Vaatamata sellele, et lõiketöötlemisel läheb tööriista suhteliselt väike osa tekkivast soojusest (tavalisel treimisel umbes 10... 20%, kiirtreimisel 1... 2%), kuumeneb ta paljudel juhtudel intensiivselt. Kiirlõiketerasest terade tööpindadel täheldatakse temperatuuri 700... 850° C. Lõiketsoonist eemal on terakeha temperatuur märgatavalt madalam. Ka stabiliseerunud soojusliku režiimi korral ei ole tera temperatuuriväli konstantne, vaid muutub tera kulumise protsessis. Temperatuurivälja isotermide paigutus sõltub soojusvoolu tingimustest supordisse ja ümbritsevasse keskkonda.

Lõikamise alguses täheldatakse temperatuuri kiiret tõusu. Seejärel tõus aeglustub ja mõne aja pärast saabub soojusliku tasakaalu olukord. Joonisel 49 on toodud iseloomulik sõltuvus tera konsoolse osa soojusliku pikenemise ja lõikamise aja vahel. Tavalistes töötingimustes võib tera pikenemine ulatuda 30... 50 μm. Tera soojenemine ja järelikult ka pikenemine kasvab ettenihke, lõikesügavuse ja lõikekiiruse suurenemisel; tera pikenemine kasvab ka töödeldava materjali tugevuspiiri (Brinelli kõvaduse) tõusmisel.

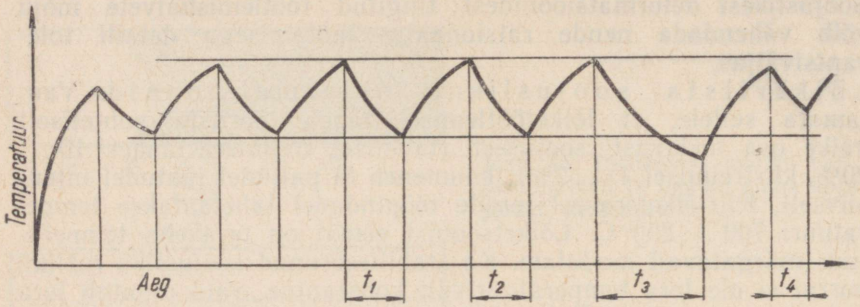


Joon. 49. Tera soojusliku pikenemise sõltuvus lõikamise ajast

Stabiliseerunud soojuslikus olukorras sobib kõvasulamplaadiga tera pikenemise ligikaudseks arvutamiseks valem

$$\xi_m = C\frac{L_t}{F}\sigma_B(ts)^{0,75}\sqrt{v}\ \mu m, \qquad (55)$$

kus C — konstant (kui $t \leqslant 1{,}5$ mm; $s \leqslant 0{,}2$ mm/p; $v = 100...$ ...200 m/min, siis $C = 4{,}5$);
L_t — tera töötava osa pikkus, võrdub väljaulatusega mm;
F — tera ristlõike pindala mm²;
σ_B — töödeldava materjali tugevuspiir kG/mm²;
t — lõikesügavus mm;
s — ettenihe mm/p;
v — lõikekiirus m/min.



Joon. 50. Tera pikkuse muutumise graafik toorikute partii töötlemisel

Tera pikenemine ajahetkel τ,

$$\xi = \xi_m(1 - e^{-\frac{\tau}{4}}) \ \mu m,$$

kus e — naturaallogaritmi alus.

Töövaheaegadel, mille pikkus võrdub teostatava operatsiooni põhiaegade vahelise ajaga, tera jahtub.

Joonisel 50 on toodud tera pikkuse muutumise graafik toorikute partii töötlemisel. Kui töö kulgeb rütmiliselt, siis on vaheajad lõikeprotsessis kestuselt ühesugused ($t_1 = t_2$) ja tera temperatuurne deformatsioon jääv kõigi töödeldavate toorikute juures. Kui rütmilisus puudub ($t_3 \neq t_4$), siis tera soojuslikud deformatsioonid on erinevad. Sel juhul on toorikute mõõtmete hajumine partii ulatuses suurem.

Küllalt suure tooriku töötlemisel võib tera soojuslik deformatsioon põhjustada töödeldava pinna kujuhälbe.

Lõikeriista soojuslikust deformatsioonist tingitud hälbed võivad esineda ka teiste mehaanilise töötlemise viiside puhul — avade sisetreimisel, laup- ja silindrilisel freesimisel, kammlõikamisel, hammaste töötlemisel jm. Töötlemishälbeid nimetatud tööriistade soojusliku deformatsiooni mõjul on veel vähe uuritud. Kuid need hälbed on tühiselt väikesed, kui lõiketsooni antakse küllalt suures koguses jahutusvedelikku.

Esitatu alusel võib teha järgmised järeldused. Üksikutel juhtudel võib töötlemise täpsusele mõjuda rakise soojuslik deformatsioon. Viimane võib soojeneda laastu, hüdraulilise või elektromagnetilise kinnitusseadise ja teiste põhjuste mõjul; kuid rakise küllalt massiivse korpuse korral on soojenemine tühine.

Temperatuuri mõju mehaanilise töötlemise täpsusele sõltub täpsuse kindlustamise meetodist. Kui töötlemine toimub prooviläbi-

mite ja nendega kaasnevate proovimõõtmiste meetodil, siis soojuslikud deformatsioonid ei mõju teostatava mõõtme täpsusele, kuna tööline võib neid antud operatsiooni teostamisel arvestada. Temperatuuri mõju on praktiliselt kõrvaldatud ka otsese aktiivse kontrolli vahendite kasutamisel. Soojuslikud deformatsioonid mõjutavad mõõtmete täpsust eelnevalt häälestatud tööpingis mõõtmete automaatse saamise meetodiga töötlemisel, jäikade tõketega töötamisel ja ka mõnede kaudse aktiivse kontrolli meetodite kasutamisel.

Tehnoloogilise süsteemi soojuslike deformatsioonide mõjul tekkinud kujuhälbeid ja pindade vastastikuse asendi hälbeid tuleb siiski arvestada kõikide täpsuse kindlustamise meetodite puhul.

Jääkpinged tooriku materjalis. Suurimat mõju avaldavad jääkpinged õhukeseseinaliste ebajäikade toorikute töötlemistäpsusele.

Jääkpingete olemus ja tekkimise põhjused. Jääk- (või oma-) pingeteks nimetatakse pingeid, mis eksisteerivad toorikus või valmisdetailis väliskoormuse puudumisel. Jääkpinged tasakaalustuvad täielikult ja nende mõju detailile ei avaldu väliselt mitte milleski. Selle tasakaalu rikkumisel osa materjali (töötlemisvaru) eemaldamisega, läbilõikamisega, töötlemisega ilma laastu eraldamata, termilise või keemilise mõjutamisega detail deformeerub, kuni pingete ümbergrupeerumine viib uuele tasakaaluolukorrale.

Eristatakse kolme liiki jääkpingeid. Esimest liiki pinged tasakaalustuvad suurte materjalimahtude piirides, millel on töödeldava tooriku mõõtmetega sama suurusjärk. Teist liiki pinged tekivad mikroskoopilistes mahtudes, mis on mõõtmetelt terade ja kristalliitidega ühes suurusjärgus. Kolmandat liiki pinged tekivad ultramikroskoopilistes mahtudes; need tasakaalustuvad aine kristallvõre mõne sõlme piirides.

Tehnoloogias pööratakse suurimat tähelepanu esimest liiki pingetele. Teist ja kolmandat liiki pingete uurimine kuulub füüsika valdkonda.

Tekkimise põhjuste järgi jaotatakse jääkpinged kahte gruppi: konstruktsioonilised ja tehnoloogilised. Esimesi tekitavad detailides protsessid, mis toimuvad konstruktsioonis; teised tekivad detailis selle valmistusprotsessis. Tehnoloogilised pinged tekivad ebaühtlaste mahuliste muutuste tulemusena: a) ebaühtlase soojenemise ja jahtumise; b) metalli faasiliste või struktuuri muutuste ja samuti metallis toimuvate difusiooniprotsesside ja c) kalestumisel plastse deformatsiooni tagajärjel.

Kahe või kolme põhjuse üheaegne toime viib detaili ristlõigetes jääkpingete jagunemise üsna keeruliste epüüride tekkimisele. Loet-

letud põhjuste koosmõju viib sageli nii suurte tõmbepingete tekkimisele detaili pinnakihtides, et võivad ilmuda praod.

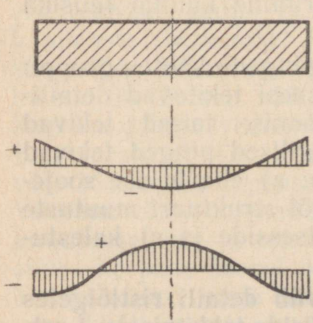
Paljudel detailidel on soovitatav tekitada pinnakihis survepinged, mis mõjuvad soodsalt nende väsimustugevusele. Jääkpingete kvantitatiivne iseloomustus on väga vajalikud detailide kvaliteedi tõstmiseks ja nende valmistamise tehnoloogilise protsessi õigeks koostamiseks. Seoses sellega pööratakse viimasel ajal palju tähelepanu tugevdava tehnoloogia meetodite väljatöötamisele, mis kindlustavad masinaelementide tugevuse ja ea suurenemise.

Vaatleme näiteks loetletud põhjustest esimese, jahtumisel mahu muutumise mõju jääkpingete tekkimisele teraskettas, mis on kuumutatud 700 ... 800° C. Kõigepealt jahtub väliskiht, mis temperatuuril alla 500° C püüab läbimõõdult kahaneda ja surub kokku veel kuuma ja plastse südamiku. Seega on väliskihid elastselt tõmmatud ja sisemised surutud. Pingete epüür selle perioodi jaoks on toodud joonisel 51 üleval.

Ketta järgnev jahtumine on seotud algul südamiku ja väliskihi temperatuuride erinevuse kasvamisega, seejärel aga selle kahanemisega. Seejuures pinged vastavalt suurenevad, hiljem aga vähenevad. Edasisel jahtumisel hakkab südamik kokku tõmbama välist, jahtunud kihti ja tekitab selles survepinged. Pingete epüür jahtunud kettas on näidatud joonisel 51 all.

Pingeid struktuuri muutuste tagajärjel täheldatakse terasdetailides austeniidi üleminekul martensiidiks.

Pingete suurusele ja jaotumisele metallis mõjuvad ka niisugused tegurid nagu detaili konfiguratsioon, soojenemise ühtlus, läbikarastumus, tera suurus ja noolutustemperatuur. Nende tegurite mõju on palju uuritud, kuid uurimiste tulemused ei anna usaldatavat ettekujutust pingete suurusest, vaid võimaldavad viimaste tekkimise pilti pigem hinnata kvalitatiivsest küljest.



Joon. 51. Jääkpingete tekkimine metalli mahu ebaühtlase muutumise tagajärjel jahtumisel

Jääkpinged toorikute töötlemise erinevate tehnoloogiliste meetodite puhul. Olenevalt kasutatavast tehnoloogilisest meetodist eristatakse: 1) valujääkpingeid, mis tekivad valandite jahtumisel; 2) sepisjääkpingeid, mis tekivad sepistes ja kuumstantsitud toorikutes; 3) termilisi jääkpingeid — tekivad termilisel töötlemisel; 4) keevisjääkpingeid; 5) kalestusjääkpingeid — tekivad külmvaltsimisel, külmstantsimisel, vermimisel, haaveldamisel ja teistel menetlustel; 6) metallide lõiketöötlemisel tekkivaid jääkpingeid ja 7) detailide elektrolüütilisel katmisel tekkivaid jääkpingeid.

Valupingetel on tugev mõju valanditest toorikute töötlemise täpsusele. Nad tekivad seetõttu, et valandi paksude ja õhukeste osade temperatuur ei ole plastsest olekust elastsesse üleminekul ühesugune. Hallmalmist valanditel toimub see üleminek temperatuurivahemikus 620 ... 400° C.

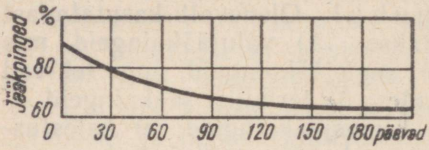
Valandi õhukesed osad jahtuvad kiiremini kui paksud, seetõttu kahaneb metall valandi massiivsetes osades hiljem. Kuid kahanemine ei saa toimuda vabalt, kuna valandi varem jahtunud õhukesed osad takistavad seda. Kui valandil on eenduvaid elemente, pidurdab kahanemist ka valuvorm. Esimesel juhul on tegemist kahanemise termilise ja teisel juhul mehaanilise takistamisega.

Mida aeglasemalt jahtub valand nimetatud temperatuurivahemikus ja mida väiksem on tema seinte paksuse erinevus, seda väiksemad on jääkpinged jahtunud toorikus. Eriti suured on jääkpinged kohtades, kus järsult muutub valandi ristlõige. Mõnikord võivad need olla nii suured, et valand kaardub ja selles tekivad praod. Jääkpinged on väiksemad õigesti konstrueeritud valandites. Pingeid vähendab ka kahanemise mehaanilise takistuse kõrvaldamine vormi purustamise teel peale metalli üleminekut vedelast olekust tahkesse, aga enne tema lõplikku jahtumist.

Valandi mehaanilisel töötlemisel rikutakse metalli pinnakihi eraldamisega jääkpingete tasakaal ja toorik deformeerub. See deformatsioon ei toimu hetkeliselt, vaid küllalt pika ajavahemiku vältel. Kui eeltöödeldud toorik antakse edasi järgnevale viimistlemisele ilma ajalise vaheta, siis deformatsioon jätkub ka peale valmisdetaili vastuvõtmist, mis kutsub esile arusaamatusi masina koostamisel ja järgneval ekspluateerimisel. Vähejäikade detailide deformatsioonid on sageli väga suured.

Jääkpingete kadumine või vähenemine valandites saavutatakse loomuliku vanandamise, termilise töötlemise (kunstliku vanandamise) või mõningate mehaanilise mõjutamise meetoditega.

Loomulik vanandamine seisneb tooriku kestvas hoidmises (laagerdamises) õhu käes. Laagerdamise kestus ulatub sageli 6 ... 12 kuuni ja rohkem. Loomulik vanandamine toimub tavaliselt peale valandi eeltöötlemist (koorimist). Tema käigule mõjub soodsalt



Joon. 52. Jääkpingete vähenemine sõltuvalt loomuliku vanandamise ajast

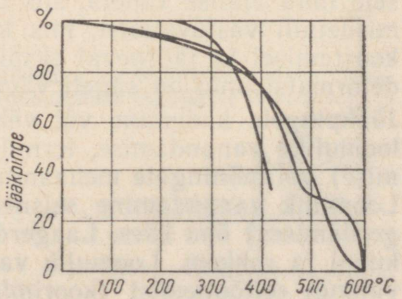
valandi temperatuuri perioodiline muutumine. Selle mooduse põhilisteks puudusteks on protsessi pikk kestus ja pingete mittetäielik kadumine. Joonisel 52 on toodud tüüpiline jääkpingete vähenemise kõver sõltuvalt laagerdumise ajast loomulikul vanandamisel. Graafikust nähtub, et poole aastaga vähenevad jääkpinged ainult 30% võrra.

Termiline töötlemine on kõige otstarbekohasem jääkpingete kaotamiseks väikestest ja keskmistest valanditest. Suurte valandite puhul ei ole see meetod alati kasutatav, kuna valandite kuumutamiseks on vaja suurte mõõtmetega ahje. Termiline töötlemine seisneb toorikute aeglases kuumutamises 500 ... 600° C, nende hoidmises sellel temperatuuril 1 ... 6 h (sõltuvalt valandi suurusest) ja järgnevas aeglases jahutamises koos ahjuga kuni 150 ... 200° C. Kuumutamise kiirus peab olema väike (60 ... 150 deg/h), et vältida suuri temperatuurivahesid valandite paksude ja õhukeste seinte vahel.

Jahutamise kiirus võetakse praktiliselt piirides 25 ... 75 deg/h; alates 150 ... 250° C võib jahutada kiirendatult — vabas õhus. Joonisel 53 on näidatud soojendamise temperatuuri mõju valandi sisepingetele. Sellelt on näha, et soojendamisel kuni 350° C pinged praktiliselt ei vähene.

Jääkpingeid võib valandites vähendada mehaanilise mõjutamisega. Selleks otstarbeks kasutatakse suruõhuvasaraid ja haaveldamist. Klopitakse pingete kontsentreerumise (ristlõike muutumine, ribide lõikumine jm.) kohtasid. See meetod ei anna radikaalseid tulemusi.

Sepisjääkpinged tekivad vabasepistamisega ja kuumstantsimisega



Joon. 53. Jääkpingete vähenemine sõltuvalt soojendamise temperatuurist kunstlikul vanandamisel

saadud toorikutes. Pingete peamine põhjus, tooriku ebaühtlane jahtumine, mõjub eriti tugevasti tooriku ebaratsionaalse konstruktsiooni korral. Sepispingete mõju on suur ebapüsivate ja vähejäikade toorikute (pikad võllid; väntvõllid jt.) deformatsioonile. Jääkpingete kaotamiseks sepistest ja stantsitud toorikutest kasutatakse lõõmutamist.

Termilised pinged on tingitud detailide ebaühtlasest soojenemisest ja jahtumisest ning samuti nende materjali struktuuri muutustest. Termilised pinged põhjustavad detailide deformatsiooni (kaardumist) ja on tihti nii suured, et nende mõjul tekivad praod.

Järskude ristlõike muutustega detailide deformatsioone vähendatakse aeglase kuumutamisega karastamiseks, õhukeste seinte kaitsmisega isoleeriva katte abil, rakistes karastamise ja noolutamisega ning karastava keskkonna pehmendamisega. Jääkpingete ja jäävdeformatsioonide suurust mõjutab jahutamise kiirus karastamisel, karastamiseks kuumutuse temperatuur, materjali esialgne mikrostruktuur ja karastuse sügavus.

Lauskarastus põhjustab suuremaid deformatsioone kui induktsioonkuumutusega pindkarastus. Deformatsioonid termilisel töötlemisel mõjutavad detaili täpsust ja töötlemisvaru suurust järgnevaks mehaaniliseks töötlemiseks. Antud detaili ja antud termilise töötlemise viisi puhul võib katseliselt leida meid huvitava mõõtme suurenemise või vähenemise. Sel viisil leitud parandust võib kasutada detaili mõõtme ja konfiguratsiooni eelnevaks muutmiseks termilise töötlemise jaoks. Keermepuuride karastamisel täheldatakse sageli keerme sammu vähenemist. See hälve kompenseeritakse veidi suurema sammuga keerme lõikamisega. Paranduse vajalik suurus leitakse katseliselt toorikute proovipartii töötlemisel.

Detailides ja sõlmedes tekivad keevispinged metalli ebaühtlase kuumenemise ja jahtumise tõttu keevitusprotsessis. Soojusallika liikumisel piki õmblust kuumeneb metall intensiivselt pealesulatamise tsoonis. Naaberpiirkondades on metall madalama temperatuuriga ja takistab kuumenenud metalli paisumist ning tekitab selles survepingeid. Jahtumisel tekivad pealekeevitatud kihis jääktõmbepinged, kuna ümbritsev metall pidurdab selle mahu vähenemist.

Nende pingete suurus ulatub mõnikord metalli voolavuspiirini. Vähese süsinikusisaldusega terastest toorikute keevitamisel tekivad põhiliselt esimest liiki jääkpinged, karastuvatest terastest toorikute keevitamisel — kõiki kolme liiki pinged.

Keevispinged tekitavad jäävdeformatsioone, mille suurus võib tunduvalt ületada valmisdetaili tolerantsi. Keevispingete mõju tuleb arvestada tehnoloogiliste tarvikute konstrueerimisel ja val-

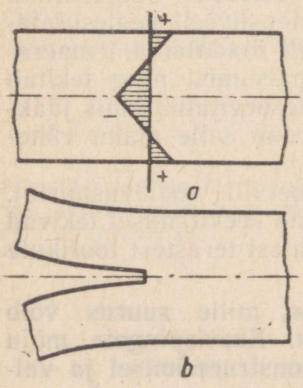
mistamisel, kuna nendest sõltub töötlemise ja koostamise täpsus. Keevispingeid võib tunduvalt vähendada detaili (sõlme) õige konstruktsiooniga, ratsionaalse keevitusrežiimi valikuga ja detaili termilise õgvendamisega peale keevitamist.

Keevitatud toodetest võib jääkpinged kaotada nende kõrgetemperatuurilise noolutamisega (600 ... 650° C). Kuid selle järel nad ei võta õiget kuju, vaid vastupidi, võivad täiendavalt deformeeruda, kusjuures uued deformatsioonid tihti ületavad suuruselt esialgseid, enne noolutamist. Deformatsioonid keevitusest on suuremad sõlmedes, mis on keevitatud väiksema soojusjuhtivusega ja suurema soojusliku paisumisteguriga materjalidest. Roostevabast terasest sõlmedes on deformatsioonid suuremad kui väikese süsinikusisaldusega terasest sõlmedes. Alumiiniumist toodete keevitamisel on deformatsioonid väiksemad kui väikese süsinikusisaldusega terasest toodete keevitamisel.

Jäävdeformatsioonide suurus sõltub õmbluste asetusest, materjali omadustest, keevitamise režiimist ja õmbluste keevitamise järjestusest. Keevitusprotsessi ratsionaalse tehnoloogia koostamisega võib need deformatsioonid viia miinimumini.

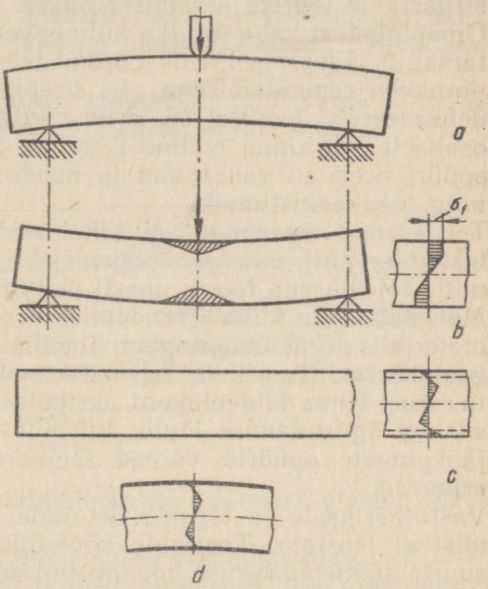
Kalestuspinged tekivad metalli külmalt töötlemisel plastse deformeerimise meetodiga. Lattide valtsimisel ja tõmbamisel deformeeritakse materjali väliskihte rohkem kui sisemisi. Seetõttu täheldatakse nimetatud meetoditel saadud toorikute pinnakihtides suuri jääktõmbepingeid ja sisemistes survepingeid. Uurimused näitavad, et valtsmaterjalis on jääkpinged sageli väga suured ja ulatuvad kuni voolavuspiirini. Joonisel 54, *a* on toodud nende pingete jagunemise epüür ristlõikes, mis on küllalt kaugel otspindadest. Kui valtsmetallist toorik lõigata pikisuunas lõhki, siis otsad eemalduvad teineteisest (joon. 54, *b*). Otste paindumine toimub jääkpingete tasakaalu rikkumise mõjul tooriku materjalis.

Ebatäpselt tsentreeritud, valtsmaterjalist tooriku treimisel eemal-



Joon. 54. Jääkpinged valtsmaterjalist toorikus

datakse ebaühtlane töötlemisvaru. Selle tulemusena kaob pingete tasakaal ja detail (kui tema pikkuse ja läbimõõdu suhe on üle 30) kõverdub märgatavalt. Samal põhjusel tekitab pikkade kiilusoonte lõikamine valtsmaterjalist toorikutes tihti detailide kõverdumise. Jääkpingete ebasoovitava mõju järgnevale mehaanilisele töötlemisele võib kõrvaldada seda liiki tehnoloogiliste meetoditega saadud toorikute lõõmutamisega. Mehaanilisel töötlemisel tekkivate jääkpingete kohta vt. lk. 177 ... 182.



Joon. 55. Jääkpingete tekkimine külmõgvendamisel

J ä ä k p i n g e d k ü l m õ g v e n d a m i s e l. Külmõgvendamist kasutatakse toorikute ja valmisdetailide kõverdumuse kõrvaldamiseks. Õgvendamine enne töötlemist vähendab vajalikku töötlemisvaru ja lühendab operatsiooni teostamise aega.

Külmalt õgvendatakse siledaid ja astmelisi võlle, mootorite kepse, vänt- ja jaotusvõlle, liiste, plaate, värtnaid ja palju teisi üldkasutatavaid ning eriotstarbelisi detaile.

Külmõgvendamine põhineb plastsel painutamisel. Joonisel 55, *a* on toodud kõige levinum, koondatud jõu rakendamisega õgvendamise skeem. Tooriku materjalis tekivad normaalpinged, mille suurus algul ei ületa elastsuspiiri. Jõu teatava väärtuse juures ulatuvad pinged äärmistes kihtides voolavuspiirini ja toorikul tekib plastne jäävdeformatsioon, mis kõrvaldab esialgse kõveruse. Koormuse eemaldamisel taastub osaliselt tooriku varasem kõverus. Sellepärast peab õgvendamisel läbipaine olema mõnevõrra suurem kui kõverus. Joonisel 55, *b* on näidatud toorik peale seda, kui

põikjõud on saavutanud lõpliku väärtuse, mis on vajalik kõveruse kõrvaldamiseks. Viirutatult on näidatud plastsete deformatsioonide piirkond. Pingete epüür on antud jõu kohal oleva ristlõike kohta. See vastab juhule, kui tooriku materjalil on teravalt ilmnev voolavuspiir σ_T.

Joonisel 55, *c* on näidatud toorik peale koormuse eemaldamist. Elastselt deformeeritud piirkonna pingete toime, mis püüab taastada tooriku esialgset kõverust, tekitab näidatud pingete epüüri sirgestatud tooriku keskmises lõikes.

Omapingetest vaba tooriku külmõgvendamisel tekivad selles paratamatult jääkpinged. Kui toorikut teistkordselt töödeldakse metalli pinnakihi eemaldamisega, siis sisepingete tasakaal kaob ja toorik deformeerub. Joonisel 55, *d* on näidatud töödeldud toorik; tal on osaliselt taastunud endine kõverus. Samas on antud sisepingete epüür; need on vähenenud ja nende epüür on jälle samasugune ning tasakaalustunud.

Teistkordsel õgvendamisel täheldatakse samasugust jääkpingete tekkimise pilti; edasisel töötlemisel rikume jälle nende tasakaalu, mille tulemusena toorik uuesti deformeerub.

Me vaatlesime külmõgvendamise protsessi tingimusel, et tooriku materjalis ei ole omapingeid. Tegelikult on toorikud tavaliselt pingeolukorras. Toorikute õgvendamisel jääkpingete tekkimise pilt tüsistub. Kuna lähteolukord üksikutes toorikutes ei ole meil teada, siis on õgvendamise lõplik tulemus mõnevõrra määramatu, sest jääkpingete epüürid võivad seejuures üksikutel toorikutel olla erinevad.

Vastutusrikaste ja täpsete detailide valmistamisel külmõgvendamist ei teostata. Toorikute kõverdumus kõrvaldatakse sel juhul suurte töötlemisvarude mahavõtmisega. Niisuguste detailide valmistamisel teostatakse tihti lattide hoolikas valik sirgjoonelisuse järgi.

Valmisdetailide õgvendamisel tekivad nende materjalis samuti tasakaalustunud jääkpinged. Aja jooksul täheldatakse sirgestatud detailide mõningast kõverdumist, mille tulemusena masinas võib toimuda lõtkude muutumine. Niisuguse kõverdumise põhjuseks on kas jääkpingete ebaühtlane relaksatsioon epüüri eri osades või otsese või vastupidise järelmõju nähtus. Pingete ühtlane relaksatsioon ei tekita detaili kõverdumist.

4. MEHAANILISE TÖÖTLEMISE SUMMAARSE HÄLBE MÄÄRAMINE

Summaarse töötlemishälbe määramine eelnevalt häälestatud tööpingis. Mehaanilise töötlemise summaarne hälve on rea eespool vaadeldud tehnoloogiliste tegurite mõju tulemus. Igaüks neist kutsub esile esmase hälbe.

Vaatleme kõigepealt summaarse töötlemishälbe määramist küllalt suure toorikute partii töötlemisel eelnevalt häälestatud tööpingis mõõtmete automaatse saamise meetodil. Eeldame, et toorikud paigaldatakse rakisesse ja kogu toorikutekogumi töötlemiseks toimub suur arv häälestusi.

Summaarse hälbe ehk teostatava mõõtme hajumisvälja võib väljendada üldjuhul järgmise funktsionaalse sõltuvusega:

$$\Delta = f(\Delta_y, \varepsilon, \Delta_h, \Delta_u, \Delta_T, \sum \Delta_k). \qquad (a)$$

Sulgudes olevad suurused ei sõltu üksteisest ja on antud konkreetse juhu jaoks määratud tehnoloogilise operatsiooni teostamise tingimustega.

Suurus Δ_y kujutab endast teostatava mõõtme hälvet (hajumisvälja) antud ristlõikes, mis tekib tehnoloogilise süsteemi lülide elastse lükke muutumise tulemusena lõikejõu muutlikkuse mõjul. Eespool on öeldud, et

$$\Delta_y = t_{\text{jääk max}} - t_{\text{jääk min}}.$$

Samaaegselt on Δ_y võrdne tehnoloogilise süsteemi elastse lükke piirsuuruste vahega.

Suurused $t_{\text{jääk max}}$ ja $t_{\text{jääk min}}$ määratakse valemiga (14).

Kui on antud muutumise piirid lõikesügavusele (on määratavad eraldatava töötlemisvaru suuruse kõikumisega), töödeldava materjali kõvadusele ja lõikejõule (lõikeriista progresseeruva kulumise mõjul), siis on Δ_y väärtus täiesti määratud. Δ_y suurus leitakse tooriku selles lõikes, kus see suurus on maksimaalne. Tavalistes tingimustes vastab sellele ristlõige, kus tehnoloogilise süsteemi jäikus on minimaalne. Kui vaatleme näiteks konsoolselt kinnitatud tooriku treimist, siis tuleb Δ_y suurus määrata tooriku vaba otsa juures, kuna nimelt siin on süsteemi jäikus kõige väiksem.

Kui suuruse Δ_y kui piirsuuruste vahe võib antud tingimustel lugeda täiesti jäävaks, siis y hetkeline väärtus iga üksiku tooriku töötlemisel kujutab endast juhuslikku suurust. y väärtuste jagunemise võib lugeda vastavaks normaaljagunemisseadusele.

Analoogiline iseloom on lähtamisveast ε_l, kinnitusveast ε_k ja rakise veast ε_r summeeruval paigaldusveal ε. Antud operatsiooni teostamise konkreetsetel tingimustel kujutab ε endast täiesti määratud suurust, s. o. mõõtelähte, millest loetakse teostatavat mõõ-

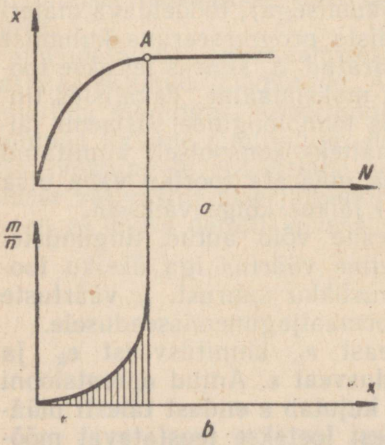
det, piirasendite projektsioonide vahekaugust teostatava mõõtme sihile. Samal ajal on iga üksiku tooriku jaoks mõõtelähte asend juhuslik. Mõõtelähte asendite jaotus allub enamikul juhtudel normaaljagunemisseadusele.

Tööpingi häälestusveaks Δ_h on lõikeriista piirasendite vahekaugus tööpingis selle häälestamisel teostatavale mõõtmele. Δ_h väärtus reglementeeritakse antud töötlemise meetodi jaoks täiesti määratud suurusega.

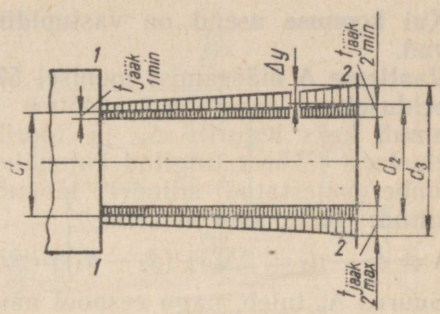
Häälestusmõõtme h konkreetne väärtus iga toorikute partii jaoks on juhuslik suurus, mille jaotus allub samuti normaaljagunemisseadusele või sellele ligidase iseloomuga seadusele.

Tööriista mõõduline kulumine muudab töötlemisprotsessis süstemaatiliselt selle lõikeserva asendit toorikute algpaigalduslähte suhtes. Selle tagajärjel teostatav mõõde muutub pidevalt tööriista vahetuste või järelhäälestuste vahepeal. Suurus Δ_u reglementeeritakse igale töötlemise meetodile kindla väärtusena sõltuvalt tööriista lubatud kulumist. Teatava lähendusega võib lugeda, et mõõduline kulumine Δ_u kulgeb lineaarse seaduspärasuse järgi ja vastav jagunemiskõver on ristkülikukujuline (võrdse tõenäosuse kõver).

Tööpingi soojuslikest deformatsioonidest tingitud teostatava mõõtme hälve Δ_T muutub ajas (või olenevalt töödeldud detailide arvust) keerukama seaduspärasuse järgi (joon. 56, *a*). Tööpingi töö algperioodil see kasvab; peale seda, kui tehnoloogiline süsteem on saavutanud soojusliku tasakaalu, see stabiliseerub (punkt *A*). Kuni süsteemi soojusliku tasakaalu saavutamise momendini on hälvete jagunemise kõveral joonisel 56, *b* toodud kuju. Selle momendi saavutamise järel muutub antud hälve süstemaatiliseks



Joon. 56. Tööpingi soojusliku deformatsiooni kõver (*a*) ja sellele vastav mõõtmete jagunemise kõver (*b*)



Joon. 57. Skeem konsoolselt kinnitatud võlli summaarse töötlemishälbe arvutamiseks

jäävaks hälbeks (jagunemiskõver läheb üle vertikaalseks sirgeks).

Avaldise (a) kuus esimest liiget kujutavad endast nende või teiste tehnoloogiliste tegurite poolt esilekutsutud hälvete muutumise piire. Viimaseks, seitsmendaks liikmeks on antud elemendi kujuhälvete summa, mis on tingitud tööpingi geomeetrilistest ebatäpsustest, tooriku deformatsioonist kinnitusjõudude mõjul ja ebaühtlasest tehnoloogilise süsteemi elastsest lükkest (lõikejõudude toimel) tooriku eri ristlõigetes.

Näiteks konsoolselt kinnitatud tooriku treimisel (joon. 57) väljendub viimane liidetav $\Sigma \Delta_k$ läbimõõtude d_2 ja d_1 erinevus. Epüüri tihedalt viirutatud osa iseloomustab töödeldud pinna kujuhälvet ja hõredalt viirutatud piirkond suuruse Δ_y muutumist tooriku eri ristlõigetes.

Mehaanilise töötlemise summaarse hälbe määramise ülesannet võib võrrelda mõõtahela sulgeva lüli tolerantsi määramise ülesandega. Selle ülesande lahendamisel maksimumi ja miinimumi järgi liidetakse avaldise (a) liikmed algebraliselt.

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon + \Delta_h + \Delta_u + \Delta_T + \sum \Delta_k. \qquad (57)$$

Diametraalsete mõõtmete hälbe määramisel suurust ε arvesse ei võeta.

Komponent ε jäetakse arvestamata ka sellise mõõtmete summaarse hälbe määramisel, mis seovad kahte teineteise vastas asetsevat elementi, mida töödeldakse üheaegselt tervikliku või komplekttööriistaga (liistusooned, hambad).

Suuruse $\Sigma \Delta_k$ määramisel peab arvestama tema komponentide vastastikust kompensatsiooni. Kui näiteks treime padrunis konsoolselt kinnitatud võlli, tekib pöördpinna kuju moondumine tehnoloogilise süsteemi jäikuse ebaühtlusest eri lõigetes. Samal ajal tekib treitud pinna koonilisus, kui spindli telg ei ole horisontaalasendis paralleelne sängi juhikutega. Kui koonuse tipp on pööratud tagapuki poole, siis kujuhälbed mingil määral vastastikku kompenseeruvad.

Kui koonuse asend on vastupidine, siis kujuhälbed summeeruvad.

Vaatleme Δ määramist joonisel 57 toodud töötlemisskeemi puhul eeldusel, et teostatava mõõtme summaarset hälvet mõjutavad ainult kaks tegurit: Δ_y ja tooriku eri ristlõigete ebaühtlasest elastsest lükkest tingitud kujuhälve. Suuruse Δ võib määrata kui ümberjoonestatud silindri läbimõõdud d_3 ja sisse joonestatud silindri läbimõõdu d_1 vahe:

$$\Delta = d_3 - d_1 = 2\Delta_y + (d_2 - d_1) = 2\Delta_y + \Delta_k.$$

Suurus Δ_y tuleb, nagu eespool näidatud, määrata lõikes, kus süsteemi jäikus on väikseim, s. t. antud juhul tooriku vaba otsa juures lõikes 2—2:

$$\Delta_y = t_{\text{jääk 2 max}} - t_{\text{jääk 2 min}}.$$

Kujuhälve

$$\Delta_k = 2(t_{\text{jääk 2 min}} - t_{\text{jääk 1 min}}),$$

kus indeksid 1 ja 2 tähistavad lõikeid kinnituskoha ja vaba otsa juures.

Summaarse töötlemishälbe arvutamine valemiga (57) on lihtne, kuid annab suurendatud Δ väärtuse.

Ka suure arvu töödeldavate toorikute puhul esineb väga harva piirmõõtmeid, mis vastaksid suurusele Δ.

Tehnoloogilise tolerantsi valimine saadud Δ suuruse järgi tingib vahepealsete töötlemisvarude ja üldise töötlemisvaru suurendamise.

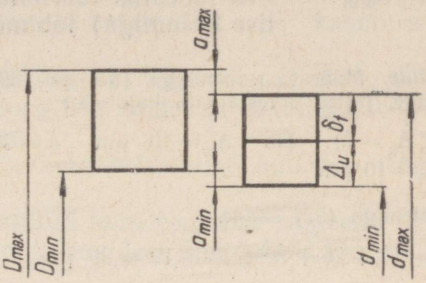
Vaatleme teist seadust esmaste hälvete summeerimiseks. Analoogiliselt mõõtahelate lahendamisele osavahetatavuse meetodil võib avaldise (a) viis esimest liiget summeerida valemiga

$$\Delta_1 = t\sqrt{\lambda_1\Delta_y^2 + \lambda_2\varepsilon^2 + \lambda_3\Delta_h^2 + \lambda_4\Delta_u^2 + \lambda_5\Delta_T^2}, \qquad (58)$$

kus t — tegur, mis määrab töötlemisel praagi saamise riski protsendi; kui $t = 1$, siis riski protsent on 32, kui $t = 2$, siis on see 4,5, kui $t = 3$, siis on see 0,27;

$\lambda_1, \lambda_2 \ldots$ — tegurid, mis sõltuvad vastava esmase hälbe jagunemiskõvera kujust.

Jagunemiskõvera puhul, mis on ligidane normaaljagunemiskõverale, $\lambda = \frac{1}{9}$. Võrdse tõenäosuse kõvera korral ja juhul, kui jagunemiskõvera kuju kohta pole midagi teada, soovitatakse võtta $\lambda = \frac{1}{3}$. Kui jagunemiskõver on lähedane kolmnurgale, siis on $\lambda = \frac{1}{6}$.



Joon. 58. Skeem mõõdulise tööriistaga avade töötlemise summaarse hälbe määramiseks

Eespool on märgitud, et suuruste y, ε ja h jagunemine on lähedane normaaljagunemisele, seega $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{9}$. Suuruse u jagunemine allub võrdse tõenäosuse seadusele, järelikult $\lambda_4 = \frac{1}{3}$. Suuruse T jagunemise iseloomu on vähe uuritud. Seepärast võib võtta $\lambda_5 = \frac{1}{3}$.

Valime $t = 3$. Siis võib avaldise (58) kirjutada järgmisel kujul

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_h^2 + 3\Delta_u + 3\Delta_T^2}. \qquad (59)$$

Võttes arvesse kujuhälbeid, on teostatava mõõtme summaarne hälve

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_h^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2} + \sum \Delta_k. \qquad (60)$$

Diametraalsete mõõtmete summaarse hälbe määramisel komponenti ε ei arvestata. Sel juhul

$$\Delta = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_h^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2} + \sum \Delta_k. \qquad (61)$$

Kui antud operatsiooni teostatakse mitmes tööpingis, siis muutub süstemaatiline jääv suurus $\Sigma \Delta_k$ juhuslikuks ja Δ määramisel viiakse tema ruut liidetavana juuremärgi alla.

Puuritava, avardatava või hõõritsetava ava läbimõõdu summaarne hälve määratakse valemiga

$$\Delta = a_{max} + \delta_t + \Delta_u - a_{min}, \qquad (62)$$

kus a_{max} — ava lobestus tööriista suurima piirmõõtme d_{max} korral (joon. 58);
δ_t — tööriista läbimõõdu tolerants;
Δ_u — mõõduline kulum, mis on lubatud tööriista vähima piirläbimõõdu juures;

a_{min} — ava lobestus tööriista lubatud vähima (koos mõõdulise kulumiga) läbimõõdu korral.

Näide. Määrata valemitega (57) ja (59) mehaanilise töötlemise summaarne hälve, jättes arvestamata kujuhälbe

$(\Sigma \Delta_k = 0)$, kui $\Delta_y = 10$ μm, $\varepsilon = 25$ μm, $\Delta_h = 30$ μm, $\Delta_u = 15$ μm, $\Delta_T = 10$ μm.

Valemiga (57) saame

$$\Delta = 10 + 25 + 30 + 15 + 10 = 90 \text{ μm}.$$

Valemiga (59) saame

$$\Delta = \sqrt{10^2 + 25^2 + 30^2 + 3 \cdot 15^2 + 3 \cdot 10^2} = 51 \text{ μm}.$$

Kui võtta teostatava mõõtme tolerantsiväli võrdseks 51 μm, siis on pingioperatsiooni teostamise antud tingimuste ja tolerantsivälja sümmeetrilise asetuse korral hajumisvälja keskme suhtes praagi saamise risk 0,27%.
Kui tolerantsiväli on 90 μm, siis on see risk tühiselt väike. Sel juhul on praagi saamise riski tegur 3 asemel 5,3. Praagi saamise risk on 0,00000001%. Teiste sõnadega, 10 miljr. detaili kohta võib üks olla praak. Kui tolerantsiväli on 51 μm, siis tuleb üks praagitud detail partii kohta 370 detailist.

Kui detailide partii on suhteliselt väike ja seda võib töödelda ilma tööriista vahetamata, siis võib toodud valemitest suuruse Δ_h välja jätta. Sel juhul summaarne hälve kui töödeldud detailide piirmõõtmete vahe väheneb. Kuid tööriista mõõtuseadmise vea tõttu nihkub suuruse Δ väli ühes või teises suunas. Selle nihke suurus ei mõjuta antud partii detailide mõõtmete hajumisvälja.
Mõõtmete automaatse saamise meetodit on sageli otstarbekohane kasutada väga väikese partii detailide puhul. Sel juhul võib tegelik summaarne hälve osutuda väiksemaks toodud valemitega arvutatust. See on tingitud sellest, et tööriista mõõdulise kulumi määrab mitte varem reglementeeritud suurus Δ_u, vaid tegelik (väiksem), antud konkreetsetes tingimustes tekkiv kulum. Peale selle väheneb väikeste partiide korral samuti töötlemisvaru ja toorikute materjali kõvaduse piirväärtuste vahe, mille järgi määratakse Δ_y suurus.

Summaarse hälbe määramine prooviläbimite meetodiga töötlemisel. Vaatleme prooviläbimite meetodil individuaalselt töödeldava tooriku summaarset hälvet. Sel juhul teostatava mõõtme hälve

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon_s + \varepsilon_k + \Delta_u + \Delta_T + \Delta_p, \qquad (63)$$

kus Δ_y — töödeldud pinna kujuhälve, mis on saadud tooriku esmaste hälvete kopeerimise tagajärjel elastses tehnoloogilises süsteemis, mille jäikus on eri ristlõigetes erinev;

ε_s — lõikeriista mõõtuseadmise viga (kontrollimise viga), mis sõltub töölise kvalifikatsioonist ja kasutatava mõõteriista liigist;

ε_k — töödeldud pinna kujuhälve või tema asendi hälve mõõtelähte suhtes tehnoloogilise süsteemi deformatsioonist kinnitusjõudude mõjul;

Δ_u — pinna kujuhälve lõikeriista mõõdulise kulumise tagajärjel;

Δ_T — kujuhälve, mis on tingitud tehnoloogilise süsteemi temperatuursetest deformatsioonidest ühe detaili töötlemise protsessis;

Δ_p — töödeldava pinna kujuhälve, mis tekib tööpingi geomeetrilistest ebatäpsustest.

Antud juhul summeerime esmased hälbed algebraliselt, arvestades nende osalise või täieliku kattumise ja vastastikuse kompenseerumise võimalust.

Küllalt jäiga tooriku silindrilise pinna töötlemisel on summaarne läbimõõdu hälve

$$\Delta = \Delta_y + 2\varepsilon_s + \Delta_u + \Delta_T + \Delta_p. \qquad (64)$$

Suurus ε_s on korrutatud kahega, sest arvutame hälvet diametraalmõõtmele.

5. TÄPSUSE UURIMISE STATISTILISED MEETODID

Hälvete liigid. Mehaanilisel töötlemisel tekkivad hälbed võib jaotada kolme liiki: süstemaatilised jäävad, süstemaatilised muutuvad ja juhuslikud.

Süstemaatiline jääv hälve ei muutu toorikute ühe või mitme partii töötlemisel. See tekib pidevalt mõjuva teguri toimel. Niisuguse hälbe näiteks võiks olla: puuritud ava telje mitteperpendikulaarsus tooriku lähtetasandi suhtes, mis on tingitud vertikaalpuurpingi töölaua tasandi ja spindli telje mitteperpendikulaarsusest; sisetreimisega treitavate avade telgedevahe hälve, mis on tingitud sisetreimiskonduktori juhtpukside väärast telgedevahest; treitava pinna kujuhälve (koonilisus) treipingi spindli telje mitteparalleelsuse tõttu sängi juhikutega. Süstemaatilise jääva hälbe võib avastada mõne töödeldud detaili proovimõõtmisega. Need hälbed viiakse vajaliku miinimumini vastavate tehnoloogiliste abinõudega (tööpingi, rakise ja tööriista geomeetriliste vigade kõrvaldamisega ja antud tehnoloogilise operatsiooni teostamise tingimuste muutmisega).

Süstemaatilised muutuvad hälbed võivad mõjutada töötlemise

täpsust pidevalt või perioodiliselt. Pidevalt mõjuva hälbe näiteks võib olla tööriista mõõdulisest kulumisest tingitud hälve.
Perioodiliselt toimiva hälbe näiteks võib olla hälve, mis tekib tööpingi soojusliku deformatsiooni tagajärjel selle käivitamise perioodil kuni soojusliku tasakaaluolukorra saavutamiseni.
Nende hälvete muutumise seaduspärasuste tundmine võimaldab pingioperatsioonide kavandamisel võtta kasutusele abinõusid hälvete kõrvaldamiseks või kompenseerimiseks.
Juhuslikud hälbed tekivad paljude üksteisest sõltumatute tegurite toimel. Juhuslik hälve võib olla mitmesuguse suurusega; selle hälbe tekkimise momenti ja täpset suurust iga konkreetse detaili kohta partiis ei ole võimalik määrata.
Juhuslike hälvete näiteks võivad olla tooriku asendi vead tööpingis, töötlemishälbed, mis on tingitud tehnoloogilise süsteemi elastsetest lüketest ebapüsiva lõikejõu toimel ja ka kinnitusjõu ebapüsivusest tingitud õhukeseseinaliste toorikute töödeldavate pindade kujuhälbed.

Põhjuslik seos juhusliku hälbe ja seda esilekutsuva teguri vahel on mõnikord tuntud (ilmne), mõnikord aga ei ole täielikult välja selgitatud.

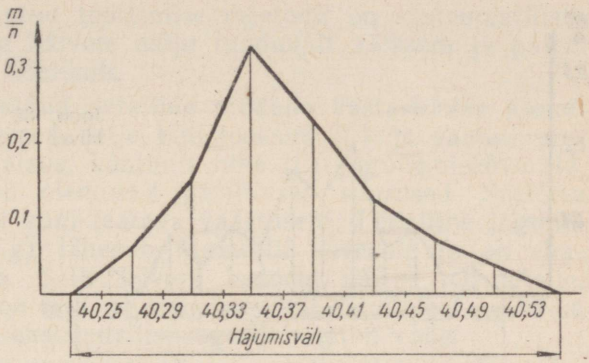
Nii näiteks võib töötlemise konkreetse juhu jaoks olla selge tehnoloogilise süsteemi elastsete lükete sõltuvus lõigatava töötlemisvaru suurusest. Ühe hõõritsaga töödeldud avade läbimõõtude kõikumist esilekutsuvad tegurid on aga senini selgitamata.

Vaatamata sellele, et juhusliku hälbe eelnev määramine igale detailile partiis on praktiliselt teostamatu, võib ikkagi kindlaks määrata selle hälbe muutumise piirid. Kui juhusliku hälbe ja seda esilekutsuvate tegurite vahel on ilmne seos, siis võib juhusliku suuruse muutumise piirid määrata analüütiliste arvutustega. Näitena võib eelnevalt välja arvutada valitud mõõtelähte ja töödeldava pinna piirkauguste vahe, mis kujutab endast lähtamisviga, kui on teada tooriku mõõtmete tolerantsid.

Kui juhusliku hälbe ja selle ilmumist mõjutavate tegurite vaheline seos ei ole välja selgitatud, siis võib juhusliku suuruse muutumise piirid määrata eksperimentaalsete uurimiste alusel.

Nähtuste uurimise protsessis saavad seosed, mis pole välja selgitatud käesoleval ajal, ilmseks tulevikus. Selle tulemusena saab võimalikuks tehnoloogiliste protsesside kavandamisel täielikumalt arvestada mitmesuguste tehnoloogiliste tegurite mõju mehaanilise töötlemise täpsusele.

Jagunemiskõverad ja töötlemise täpsuse hindamine nende alusel. Täpsuse hindamise statistilise meetodi olemus on küllalt üksikasjalikult esitatud erialases kirjanduses ja masinaehituse tehnoloogia alastes töödes. See meetod on kasutatav suure hulga ühe-



Joon. 59. Mõõtmete jagunemise kõver

suguste detailide tootmise korral, mida töödeldakse nii eelnevalt häälestatud tööpingis kui ka prooviläbimite meetodil.

Matemaatiline statistika oli selleks teaduslikuks baasiks, mille alusel asuti uurima tehnoloogiliste protsesside täpsust. Esimeseks sammuks selles suunas oli jagunemiskõverate uurimine.

Jagunemiskõver koostatakse järgmiselt. Meid huvitava suuruse kõigi mõõtmiste kogum, mis on teostatud kindlates tingimustes töödeldud toorikute partii juures, jagatakse gruppideks. Igasse gruppi kuuluvad toorikud, mille mõõtmise tulemus on kindla intervalli piirides. Intervallid kantakse abstsissteljele ja toorikute arv, mis tuleb iga intervalli kohta, ordinaatteljele. Graafikule kantud punktide ühendamisel saadakse murdjoon. Joonisel 59 on näidatud eelnevalt treitud seibide läbimõõdu jagunemiskõver; see näitab, et mõõtme keskmistes intervallides on seibide arv suurem.

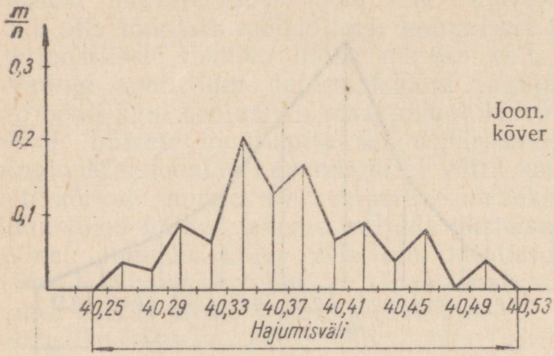
Detailide arvu suurendamisel partiis ja intervallide ahendamisel ning nende arvu suurendamisel läheneb murdjoon sujuvale kõverale.

Iga intervalli detailide absoluutse arvu asemel kantakse ordinaatteljele samuti selle arvu suhe detailide üldarvusse partiis. Seda suhet nimetatakse suhteliseks sageduseks.

Murdjoone kuju, mis iseloomustab suuruste jagunemist partiis, võib sõltuvalt intervalli suurusest muutuda. Väga kitsaste intervallide puhul võib tekkida murdjoon mitme harjaga. Joonisel 60 on näidatud jagunemiskõver ahendatud intervallidega, võrreldes joonisega 59.

Uuritava töötlemisprotsessi kõige ligikaudsemaks täpsuse mõõduks võib kasutada hajumisvälja (joon. 59). Hajumisvälja suuruse võib võtta graafikult või uuritavate suuruste mõõtmise tabelist. Mida kitsam on hajumisväli, seda täpsem on uuritav tehnoloogiline meetod.

Toorikute töötlemisel eelnevalt häälestatud tööpingis sõltub joon-,



Joon. 60. Mõõtmete jagunemise kõver ahendatud intervallide korral

diametraal- ja nurkmõõtmete jagunemiskõvera liik hälvete iseloomust (liigist). Arvukad uurimused on näidanud, et juhuslikud hälbed jagunevad normaaljagunemis- ehk Gaussi seaduse järgi. Vastaval jagunemiskõveral (joon. 61, *a*) on sümmeetriline, telgitaoline kuju.

Süstemaatilised muutuvad hälbed jagunevad mitmesuguste seaduste järgi sõltuvalt hälvete muutumise iseloomust. Ühtlaselt kasvavad hälbed (lõikeriista mõõdulisest kulumisest tingitud hälbed) jaotuvad võrdse tõenäosuse seaduse järgi ja vastav jagunemiskõver muutub ristkülikuks (joon. 60, *b*).

Süstemaatiline jääv hälve ei mõjuta jagunemiskõvera kuju. Selle hälbe mõju avaldub ainult selles, et antud partii jagunemiskõver nihkub abstsissteljel hälbe suuruse Δ_h võrra. Joonisel 61, *c* on täisjoonega näidatud süstemaatilise jääva hälbe puudumisel saadud jagunemiskõver. Punktiirjoonega on kujutatud jagunemiskõver süstemaatilise hälbe olemasolul. Toodud kõver on nihkunud selle hälbe suuruse võrra paremale.

Kui juhuslike kõrval esinevad ka süstemaatilised muutuvad hälbed, siis jagunemiskõver moondub. Joonisel 61, *d* on saadud kõver, mis kujutab endast Gaussi kõvera ja võrdse tõenäosuse kõvera kompositsiooni. Selline kõver võib tekkida juhul, kui töötlemise täpsusele avaldab tugevat mõju tööriista mõõduline kulumine.

Tööpingi kahe erineva häälestusega töödeldud kahe partii detailide jagunemiskõver tuleb kaheharjaline (joon. 61, *e*). Mitme häälestuse korral võib tekkida mitmeharjaline kõver. Suure arvu häälestuste korral mitmeharjalisus tasandub ja kõver võtab normaaljagunemiskõvera kuju, mille alus on laiem.

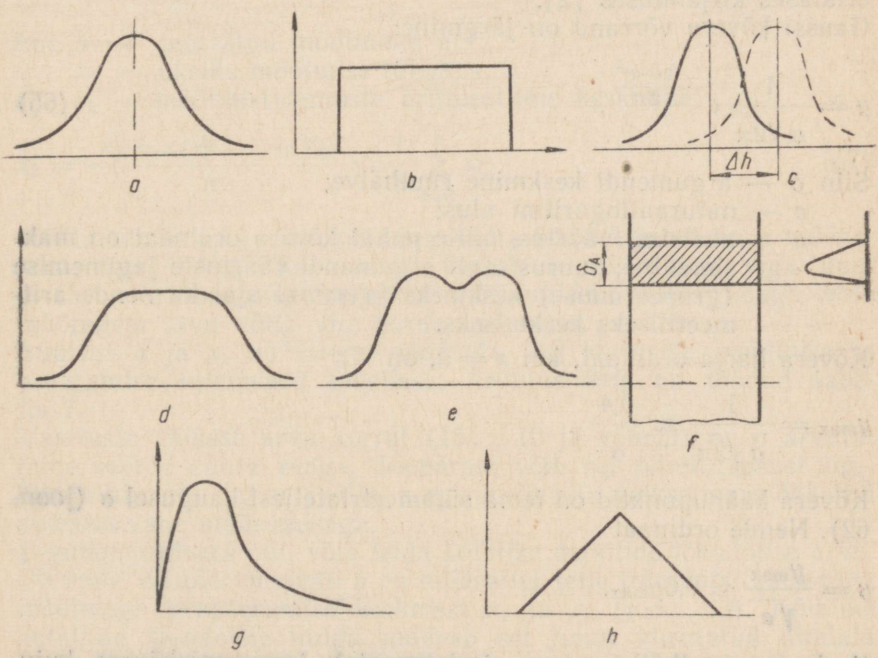
Toorikute töötlemisel prooviläbimite meetodil tuleb jagunemiskõver ebasümmeetriline. See on tingitud sellest, et tööline, teostades üksikuid mõõtmisi, hoidub piirkaliibri läbiva külje poole. Seega tegelikud mõõtmed grupeeruvad tolerantsivälja suhtes ebaühtla-

selt (joon. 61, *f*). Antud töötlemise meetodil on süstemaatiliste jäävate ja muutuvate hälvete mõju tunduvalt väiksem ja paljudel juhtudel puudub täielikult.

Vaatleme nüüd töödeldud detailide pindade vastastikuse asendi hälvete (ekstsentrilisused, telje külisjooksud jt.) ja samuti pindade kujuhälbe (ovaalsus, kontuuri nihe jt.) jagunemiskõveraid. Nimetatud hälbed on olemuselt positiivsed suurused. Seetõttu muutuvad nad nullist kuni teatava väärtuseni. Tüüpiline jagunemiskõver (joon. 61, *g*) läheneb Maxwelli kõverale ja on ebasümmeetrilise kujuga. Selle kõvera iseloom näitab, et detaile, mille ekstsentrilisus on null, ei ole; enamikul detailidest on väike ekstsentrilisus; suure ekstsentrilisusega detaile on vähe.

Võib kohata veel teisi jagunemiskõverate liike. Näiteks domineeriva põhjuse korral, mis poole ajast muutub aeglaselt ja teise poole kiirelt, allub mõõtmete hajumine partiis Simpsoni seadusele (joon. 61, *h*).

Paljude uurijate tööd on näidanud, et eelnevalt häälestatud tööpingis teostatud mõõtmete jagunemine on lähedane normaaljagunemisele. Ligikaudsete tehnoloogiliste arvutuste puhul võib ole-



Joon. 61. Jagunemiskõverate mitmesugused liigid

masolevad erinevused jätta arvestamata ja lugeda tegelik jagunemine esimeses lähenduses kokkulangevaks normaaljagunemisega.

Vaatlustest saadud empiirilise jagunemise võrdlust teoreetiliste jagunemiskõveratega ja eriti Gaussi kõveraga võib teostada mitmel viisil. See võrdlus võib olla vajalik parandustegurite kindlaksmääramiseks empiirilise jagunemise asendamisel Gaussi seadusele vastava jagunemisega ja samuti selle tehnoloogilise protsessi analüüsiks, mille alusel on antud empiiriline jagunemine saadud. Peale selle tekib tehnoloogilistes uurimistes tihti vajadus valida empiirilise jagunemise alusel sobiv teoreetiline seadus.

Kõige lihtsam ja ilmekam moodus empiirilise ja valitud teoreetilise jagunemise läheduse hindamiseks seisneb nende ordinaatide erinevuse määramises. Seejuures peavad kõverad olema samas mõõtkavas ja ühesuguste suhtelise sageduse muutumise intervallidega.

Empiirilise ja valitud teoreetilise jagunemise läheduse summaarseks hindamiseks kasutatakse K. Pearsoni, V. Romanovski ja A. Kolmogorovi sobivuse kriteeriume.

Nende kriteeriumide määratlus ja arvutusmetoodika on toodud erialases kirjanduses [2].

Gaussi kõvera võrrand on järgmine:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}. \qquad (65)$$

Siin σ — argumendi keskmine ruuthälve;
e — naturaallogaritmi alus;
a — abstsissi väärtus, mille puhul kõvera ordinaat on maksimaalne; suurus a on argumendi väärtuste jagunemise (grupeerumise) keskmeks ja samal ajal ka nende aritmeetiliseks keskmiseks.

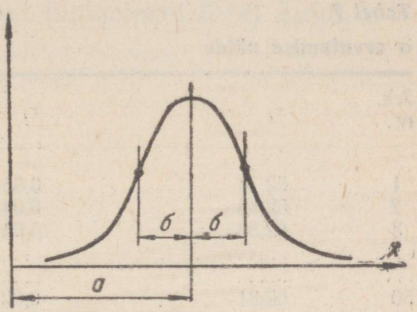
Kõvera harja ordinaat, kui $x = a$, on

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0{,}4}{\sigma}.$$

Kõvera käänupunktid on tema sümmeetriateljest kaugusel σ (joon. 62). Nende ordinaat

$$y = \frac{y_{max}}{\sqrt{e}} \approx 0{,}6 y_{max}.$$

Keskmise ruuthälbe suurus iseloomustab jagunemiskõvera kuju. σ suurte väärtuste puhul tuleb kõver lame ja hajumisväli suur.



Joon. 62. Gaussi kõver

Väikeste σ väärtuste korral on kõver püstsuunas tugevasti välja venitatud ja väikese hajumisväljaga.

Täpsuse iseloomustuseks (mõõduks) on σ väärtus. Selle vähenemine näitab uuritava meetodi täpsuse tõusu. Mõõtmistulemuste alusel määratakse σ järgmise valemiga:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_k)^2}, \tag{66}$$

kus n — teostatud mõõtmiste arv;
x_i — üksiku mõõtmise tulemus;
x_k — mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine:

$$x_k = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i. \tag{67}$$

Mõõtmiste arvuks n soovitatakse võtta 50. Sel juhul on σ määramise viga $\pm 10\%$. Kui $n = 25$, tõuseb σ määramise viga kuni $\pm 15\%$. Aritmeetilise keskmise määramiseks sama veaga võib mõõtmiste arvu võtta viis korda väiksema.

Suurusi σ ja x_k on mugav määrata, kui kanname mõõtmise ja arvutamise tulemused tabelisse. Arvutusnäide on toodud tabelis 7.

Vaatluste väikese arvu korral (15 ... 10 ja vähem) on σ arvutamine seotud suure veaga. Seepärast võib sel juhul täpsust ligikaudu hinnata hajumisvälja, s. o. suurima ja väikseima mõõdetud suuruse vahe määramisega.

Jagunemiskõvera abil võib leida kõlblike detailide tõenäolise arvu. Oletame, et tolerantsiväli δ on määratud selle tolerantsi kahe piirmõõtmega grupeerumise keskmest x_1 ja x_2 (joon. 63). Kõlblike detailide tõenäolise hulga määrab sel juhul viirutatud pindala $F_1 + F_2$ suhe kogupindalasse F kõvera abstsisstelje vahel. Tolerantsi vähenemisel väheneb ka pindalade suhe ja kõlblike detai-

Tabel 7

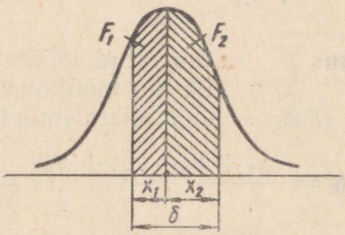
σ arvutamise näide

Jrk. nr.	x_i	$x_i - x_k$	$(x_i - x_k)^2$
1	62,74	0,05	0,0025
2	62,75	0,04	0,0016
3	62,83	0,04	0,0016
....	.....	....	.....
....	.....	....	.....
50	62,81	0,02	0,0004

$\Sigma x_i = 3139{,}5; \quad x_k = \frac{\Sigma x_i}{50} = 62{,}79;$

$\Sigma (x_i - x_k)^2 = 0{,}0573;$

$\sigma = \sqrt{\frac{0{,}0573}{50}} \approx 0{,}032$ mm.



Joon. 63. Skeem kõlblike detailide tõenäolise hulga määramiseks

lide tõenäoline hulk langeb. Tolerantsi suurendamisel pindalade suhe läheneb ühele. Sel juhul tulevad kõik detailid kõlblikud, kuna kindla sündmuse tõenäosus on võrdne ühega.

Loeme, et jagunemiskõver asetseb sümmeetriliselt ordinaattelje suhtes. Siis on vasakpoolse viirutatud piirkonna pindala F_1 määratav järgmiselt:

$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\, dx.$$

Parempoolse viirutatud piirkonna pindala F_2 leitakse analoogiliselt:

$$F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\, dx.$$

Neid integraale esitatakse tavaliselt funktsiooni $\Phi(z)$ kujul, kus juures $z = \frac{x}{\sigma}$:

$$F_1 = 0{,}5\Phi(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{-z_1} e^{-\frac{z^2}{2}} dz;$$

$$F_2 = 0{,}5\Phi(z_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

F_1 ja F_2 väärtused on alla ühe. Nad väljendavad osa kogu pindalast Gaussi kõvera ja abstsisstelje vahel, mis on võetud võrdseks ühega.
Tabelis 8 on toodud funktsiooni $\Phi(z)$ väärtused argumendi iga kümnendiku järel.

Tabel 8

Funktsiooni $\Phi(z)$ väärtused

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,0	0,0000	1,2	0,7699	2,4	0,9836
0,1	0,0797	1,3	0,8064	2,5	0,9876
0,2	0,1585	1,4	0,8385	2,6	0,9907
0,3	0,2358	1,5	0,8664	2,7	0,9931
0,4	0,3108	1,6	0,8904	2,8	0,9949
0,5	0,3829	1,7	0,9109	2,9	0,9963
0,6	0,4515	1,8	0,9281	3,0	0,9973
0,7	0,5161	1,9	0,9426	3,1	0,99806
0,8	0,5763	2,0	0,9545	3,2	0,99862
0,9	0,6319	2,1	0,9643	3,3	0,99903
1,0	0,6827	2,2	0,9722	3,4	0,99933
1,1	0,7287	2,3	0,9786	3,5	0,99953

Kui $z = \pm 3$, siis funktsioon $\Phi(z) = 0{,}9973$. See tähendab, et kogu detailide partiist, mis on töödeldud antud meetodil, läheb ainult 0,27% tolerantsi $\pm x = 6\sigma$ piirest välja.
Kui vaatlusandmete alusel arvutada välja σ väärtus, võib uuritava tehnoloogilise meetodi täpsust iseloomustada korrutisega 6σ. Sel juhul on meil töödeldavate detailide kõlblikkus praktiliselt sajaprotsendiline, kuna tõenäoline praagi hulk on alla 0,3%. Suurus 6σ on kokkuleppeline. 7σ korral kahaneb tõenäoline praagi hulk väga vähe. 5σ korral see mõnevõrra kasvab. «Kuue sigma» juhis on praktiliseks kasutamiseks küllalt lihtne ja mugav. Selle juhise kokkuleppelisus ei välista muidugi üksikutel juhtudel kuue asemel mõne muu teguri kasutamist.

Kirjeldatud meetod võimaldab objektiivselt hinnata toimuva, kindlates tingimustes täidetava töötlemisprotsessi täpsust.
Antud meetodi täpsust iseloomustava σ suuruse määramisel tuleb kõrvaldada süstemaatilise vea mõju mõõtmisele. Näiteks silindrilise pinna kujuhälbe kõrvaldamiseks (mis antud juhul kujutab endast süstemaatilist viga) on otstarbekas mõõta diametraalmõõtmeid partii kõikide toorikute juures kindlas ristlõikes.
Vaatleme mõnda tüüpilist summaarse hälbe määramise juhtu. Summaarse hälbe all mõistame mõõtme hajumisvälja.
1. Partii toorikuid töödeldakse tööpingi ühe häälestusega. Paigaldushälve puudub. Summaarne hälve on määratav valemiga

$$\Delta = 6\sigma + \Delta_k, \tag{68}$$

kus σ — keskmine ruuthälve, mis iseloomustab antud meetodi täpsust;
Δ_k — tööpingi geomeetrilistest ebatäpsustest ja teistest faktoritest tingitud töödeldava pinna süstemaatiline kujuhälve. Kui arvestame seda hälvet, saame erinevates ristlõigetes määratud mõõtmete hajumisvälja.

2. Töötlemise tingimused on samad, kuid lähete ühitamise põhimõttest mittekinnipidamise ja kinnituse ebaratsionaalse skeemi tõttu tekib paigaldusviga ε. Kui arvestame, et see viga kujutab endast juhuslike suuruste hajumisvälja, saame teostatava mõõtme summaarse hälbe järgmiselt:

$$\Delta = \sqrt{k_1^2(6\sigma)^2 + k_2^2\varepsilon^2} + \Delta_k, \tag{69}$$

kus k_1 ja k_2 — tegurid, mis iseloomustavad tegelike jagunemiskõverate hälbimust normaaljagunemiskõveratest.

3. Töödeldakse mitu partiid toorikuid erinevate häälestustega ja paigaldusvea olemasolul. Summaarne hälve väljendub valemiga

$$\Delta = \sqrt{k_1^2(6\sigma)^2 + k_2^2\varepsilon^2 + k_3^2\Delta_h^2} + \Delta_k. \tag{70}$$

Sel juhul iseloomustab tööpingi häälestusviga Δ_h häälestusmõõtme kui juhusliku suuruse hajumisvälja. Seetõttu summeeritakse ta paigaldusvea ja esimese liidetavaga ruutjuurjuhise järgi. Kui võtame $k_1 = k_2 = k_3 = k$, saame summaarsele hälbele lihtsama avaldise

$$\Delta = k\sqrt{(6\sigma)^2 + \varepsilon^2 + \Delta_h^2} + \Delta_k. \tag{71}$$

Teguri k väärtus kõigub 1 ... 1,2. Uurimused jagunemiskõverate alusel võimaldavad objektiivselt hinnata mitmesuguste mehaanilise töötlemise menetluste täpsust. Nimetatud meetod on univer-

saalne. Seda võib kasutada toorikute valmistamise, koostamisoperatsioonide, tehnilise kontrolli operatsioonide ja terve rea niisuguste spetsiifiliste operatsioonide, nagu balansseerimine, külmõgvendamine jt. täpsuse uurimiseks.

Ühtne metoodika, lihtsus ja lihtsad arvutused on põhjustanud selle meetodi laia leviku kõige erinevamate tehnoloogiliste menetluste täpsuse hindamisel. Ta on eriti mugav (ja tihti ka asendamatu) neil juhtudel, kui nähtuse mehhanism on selgitamata.

Teda on otstarbekohane kasutada ka arvutusliku-analüütilise meetodi alusel saadud tulemuste ja järelduste praktiliseks kontrollimiseks.

Käsitletud meetodi oluliseks puuduseks on see, et ta ei ava töötlemise täpsust mõjutavate füüsikaliste nähtuste ja tegurite olemust, ning ka see, et tema baasil ei saa selgitada täpsuse tõstmise konkreetseid võimalusi. See meetod fikseerib lõpetatud etapi tulemused, s. t. «on pööratud minevikku». Praktika näitab, et mitte küllalt korrektsel mõõtmisel võib σ väärtus kõikuda suurtes piirides (mõnikümmend protsenti tegelikust väärtusest mõlemale poole); see loob mõninga ebakindluse uuritava menetluse täpsuse hindamisel. Varem saadud σ väärtusi ei või kasutada, kui antud operatsiooni teostamise tingimused on muutunud (lõikerežiim, tooriku paigaldamise moodus jms.). Sel juhul tuleb määrata σ uus väärtus.

Jagunemiskõverate meetod võimaldab real juhtudel välja selgitada täpsuse kvantitatiivse ja kvalitatiivse sõltuvuse üksikutest tehnoloogilistest teguritest.

Uurimise tulemused võimaldasid näiteks kindlaks määrata, et σ suurus ei sõltu praktiliselt tooriku pikkusest, kui toorik on saadud mahalõikamisel tööpingis ketassaega tooriku paigaldamisel tõkke abil. See järeldus kinnitab analüütilist oletust, et tooriku pikkuse tolerants ei sõltu tooriku pikkusest.

Katsetega erinevatel tööpinkidel on kindlaks tehtud, et kõikide teiste võrdsete tingimuste korral ei sõltu σ väärtus teostatavast mõõtmest. Nii näiteks püsiva lõikerežiimi (t, s, v), ühe ja sama materjali ja tööriista ühesuguse teekonna korral metallis ning ühel ja samal tööpingil töötlemisel ei sõltu σ väärtus töödeldava silindrilise pinna läbimõõdust.

Valandite ja stantsitud toorikute valmistamise täpsuse uurimine jagunemiskõverate meetodil võimaldas kindlaks teha, et muld- ja alalistest vormidest saadud valandite mõõtmete tolerantsid sõltuvad mitte ainult mõõtme suurusest, vaid ka mõõtme sihist vormi lahutuspinna suhtes. Mõõtmed, mis on risti vormi lahutuspinnaga, on suuremate hälvetega kui selle tasapinnaga paralleelsed mõõtmed.

Stantsitud toorikute vasaratel valmistamise täpsuse uurimine on näidanud, et stantsi lahutuspinnaga perpendikulaarsed mõõtmed saadakse samuti tunduvalt suuremate hälvetega kui selle tasapinnaga paralleelsed mõõtmed.

Täppdiagrammid ja nende kasutamine töötlemise täpsuse uurimiseks. Töötlemisprotsesside uurimine jagunemiskõverate meetodil võimaldab objektiivselt hinnata antud tehnoloogilise operatsiooni täpsust. Kuid sel meetodil on puudus, et tema kasutamisel ei arvestata toorikute töötlemise järjekorda. Kogu mõõtmiste kogumit vaadeldakse sõltumatult sellest, missugune detail on töödeldud varem, missugune hiljem. Peale selle jagunemiskõverad ei võimalda teada saada iga põhjust, mis mõjutab protsessi tulemust. Jagunemiskõverate koostamise ja analüüsiga võib välja selgitada süstemaatilise jääva hälbe. Viimane on määratud antud kogumi kõvera grupeerumistsentri nihke suurusega. Mis puutub süstemaatilistesse muutuvatesse hälvetesse, siis nende mõju ilmneb jagunemiskõvera kuju iseloomulikus moondumises. Ülalpool on märgitud, et lõikeriista intensiivse mõõdulise kulumise korral Gaussi kõver moondub: tema hari muutub lamedaks. Ent kui mõõtmistulemuste alusel ei koostata jagunemiskõverat, vaid arvutatakse otse keskmine ruuthälve, siis süstemaatilised muutuvad hälbed ei eraldu juhuslikest. Sel juhul vähenevad tunduvalt selle meetodi võimalused neid või teisi hälbeid esilekutsuvate põhjuste selgitamiseks ja kõrvaldamiseks.

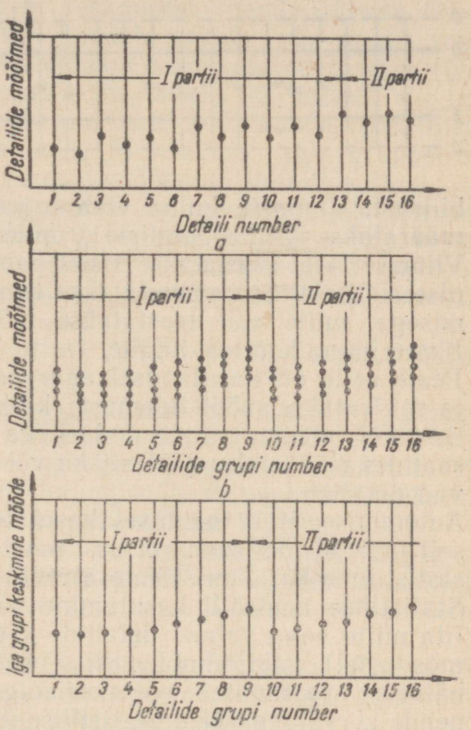
Täpsuse uurimise teine meetod rajaneb täppdiagrammide koostamisel. Horisontaalteljele kantakse töödeldavate detailide numbrid selles järjekorras, kuidas nad tulevad tööpingist. Vertikaalteljele kantakse täppide kujul detailide mõõtmise tulemused. Sellise diagrammi võib koostada nii ühe kui ka mitme järjestikku töödeldava detailide partii kohta (joon. 64, *a*).

Niisuguste diagrammide pikkust võib tunduvalt vähendada, kui horisontaalteljele kanda mitte toorikute numbrid, vaid detailide gruppide numbrid, kusjuures igasse gruppi kuulub ühesugune arv tööpingist üksteise järel saadud detaile (joon. 64, *b*).

Joonisel 64, *c* on toodud diagramm, kus vertikaalteljele on kantud igasse gruppi kuuluvate detailide mõõtmete aritmeetiline keskmine. Sel juhul on palju lihtsam tabada teostatavate mõõtmete ajas muutumise üldist tendentsi.

Joonisel 64, *c* on selgesti näha mõõtmete muutumise perioodilisus lõikeriista pideva kulumise ja pingi perioodiliste järelhäälestuste tõttu.

Täppdiagrammide omadusi asuti üksikasjaliselt uurima seoses toodangu kontrolli statistilise meetodi arenemise ja kasutamisega tööstuses. Selle meetodi olemus seisneb selles, et antud toodangu valmistamise protsessis võetakse pidevalt kahest kuni kümnest

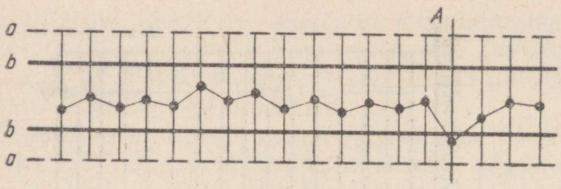


Joon. 64. Täppdiagrammid

detailist koosnevaid proove. Nende detailide universaalsete riistadega mõõtmise tulemused töödeldakse viivitamatult ja kantakse spetsiaalsele (kontroll-) diagrammile. Sellel diagrammil on ette nähtud kaks paralleelset sirget *a* ja *a*, mis määravad tolerantsivälja piirid, ja sirged *b* ning *b*, mis määravad gruppide keskmiste hajumisvälja ja mida nimetatakse kontrollsirgeteks.

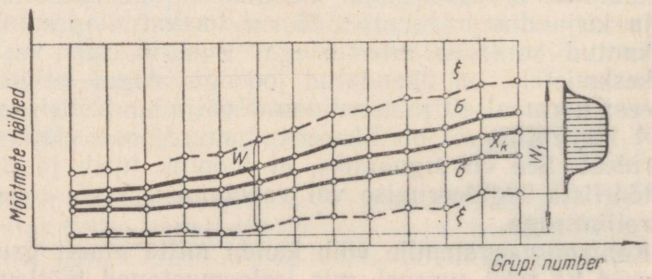
Kontrollsirgete asend leitakse statistilise kontrolli teoreetiliste kaalutluste alusel, mida käsitletakse spetsiaalsetes distsipliinides ja kirjanduses. Joonisel 65 on toodud diagrammi näidis pealekantud kontrolli tulemustega. Punktid, mis vastavad gruppide keskmistele, on ühendatud joonega. Algul kulgeb töötlemisprotsess normaalselt ja murdjoon ei välju kontrollsirgete vahelt. Grupi *A* kontrollimisel on fikseeritud murdjoone väljumine kontrollpiiridest. See on signaaliks, et tööpink tuleb järelhäälestada, kas tööriista reguleerimise või vahetamisega või tõkete asendi kontrollimisega.

Kontrolldiagrammile võib kanda mitte ainult gruppide keskmisi, vaid ka teisi suurusi, mis iseloomustavad töötlemisprotsessi sta-



Joon. 65. Kontrolldiagramm statistiliseks kontrolliks

biilsust. Viimaste hulka võib lugeda hajumisvälja suuruse, mis määratakse igale mõõtmiste grupile kui selle piirsuuruste vahe.
Viimasel ajal pööratakse tähelepanu statistilise kontrolli mehhaniseerimisele. See saavutatakse kombineeritud aparaatide kasutamisega, mille abil teostatakse mõõtmine ja mõõtmete suuruse fikseerimine kontroll-lindile.
Peale selle on kasutamisel aparaadid, kus teostatakse mõõtmine ja määratakse mõõtetulemuste keskmine. Viimast teostab elektriliste või pneumaatiliste anduritega summeeriv seadis. Neis aparaatides mõõdetakse järjestikku või üheaegselt kõik gruppi kuuluvad detailid.
Automatiseeritud tootmises kasutatakse seadiseid, mis automaatselt juhivad töötlemisprotsessi mõõtetulemuste ja nendest saadud statistiliste karakteristikute alusel.
Statistilise kontrolli kasutamine väldib praagi, kuna ei kontrollita mitte kogu valmis detailide kogumit (nagu tavalise kontrolli moodustel), vaid tehnoloogilise protsessi enda teostamise õigsust; hälvete avastamisel võetakse õigeaegselt kasutusele abinõud nende kõrvaldamiseks. Statistilise kontrolli korral kahaneb tunduvalt kontrolöride arv, kuna valikulisele kontrollimisele kuulub ainult 5 ... 10% toodangust.
Täppdiagrammide meetod veidi muudetud kujul võimaldab täpsemalt selgitada süstemaatiliste muutuvate hälvete mõju üldisele töötlemishälbele. Joonisel 66 on toodud niinimetatud täpsusdiagrammi näide.
Iga järjestikku töödeldava detailide grupi kohta leitakse: aritmeetiline keskmine x_k, keskmine ruuthälve σ ja ülemine $\xi_{ü}$ ning alu-



Joon. 66. Täpsusdiagramm

mine ξ_a piirhälve aritmeetilisest keskmisest (nende hälvete vahe on antud grupi hajumisväli W). Toodete arvuks igas grupis soovitatakse võtta 25, kui aga töödeldakse suurt partiid tooteid (üle 300), siis isegi rohkem. Kui partiis on näiteks 300 toodet, siis on gruppide üldarv 12. Kui partiis on tuhandeid tooteid, siis tuleb detaile mõõta nende valmistamise järjekorras, aga gruppe ei võeta järjest, vaid võrdse arvu mittemõõdetud detailide järel.

Joonisel 66 toodud täpsusdiagrammis on abstsisstseljele kantud järjest võetud gruppide numbrid ja ordinaatteljele — x_k, σ, $\xi_ü$ ning ξ_a arvutatud väärtused. Punktide ühendamisel saame toodud suuruste muutumise tunnusjoone uuritava töötlemisprotsessi kulgemise ajas.

Kui teostame analoogilisi vaatlusi mitme partii juures, võime saada ladusama diagrammi.

Lõikeriista vahetusest või järelhäälestusest (või muudest põhjustest) tingitud hüppeid võib võtta arvesse sel viisil, et lähima grupi piirid ühitatakse hüppe kohaga. Diagrammist nähtub, et ühe grupi piirides on mõõtmete hajumisväli W tunduvalt väiksem kogu haaratud detailidekogumi hajumisväljast W_1.

Kui mõõtmete hajumine ühe grupi piirides vastab normaaljagunemisseadusele, siis kogu detailidekogumi jaoks võib ta sellest süstemaatilise muutuva vea suurema või väiksema mõju tõttu erineda.

Kui näiteks x_k muutub abstsisstelje suhtes kaldu oleva sirge järgi (tööriista mõõduline kulumine), siis iseloomustab kogu detailidekogumi mõõtmete hajumist lamedaharjaline kõver.

Mitme süstemaatilise ajas püsiva või muutuva intensiivsusega mõjuva teguri olemasolu viib reale teoreetilistele jagunemiskõveratele, mida on üksikasjalikult uurinud N. A. Borodatšov.

Kui täpsusdiagrammil kindlaks määrata kõvera asend, mis iseloomustab üksikute gruppide x_k muutumist ajas, siis võib välja selgitada süstemaatiliste muutuvate hälvete mõju üldisele töötlemishälbele. Kui näiteks x_k väärtused asetsevad sirgel, mis on abstsisstelje suhtes teatava nurga all kaldu, siis väljendub süstemaatilise hälbe suurus vastava tõusunurgaga sirge võrrandina. Süstemaatilise hälbe suuruse võib anda funktsioonina ajast või tööpingist saadud detailide arvust. Teda võib väljendada ka funktsioonina töödeldud pinnast või tööriista teekonna pikkusest töödeldavate toorikute metallis. Kui x_k väärtused jagunevad parabooli järgi, siis võib süstemaatilise hälbe suuruse väljendada teise astme kõvera võrrandiga. Keerulisematel juhtudel on otstarbekohane esitada sõltuvus aproksimatiivse funktsioonina.

Täpsuse uurimise antud meetodi puuduste hulka tuleb lugeda seda, et mitme muutuva süstemaatilise hälbe olemasolul nad ei eraldu üksteisest; nende mõju sekundaarsele hälbele hinnatakse

kompleksselt. Peale selle nõuab uurimine suhteliselt suurt hulka vaatlusi.

Ligikaudsem täpsuse uurimise viis seisneb statistiliste kontrolli-diagrammide tulemuste üldistamises, millele kantakse kindlate ajavahemike järel tööpingist võetud väikeste proovide (mõned detailid) keskmised väärtused ja haare. Selle meetodi olemust on käsitletud spetsiaalses kirjanduses.

Töötlemisprotsesside uurimine vaatlustulemuste korjuva kogumi põhjal. Peale ülalpool vaadeldud täpsuse uurimise jagunemiskõverate ja täppdiagrammide meetodi kasutatakse tööstuses tänapäeval A. A. Zõkovi poolt välja töötatud üksikute tehnoloogiliste operatsioonide teostamise täpsuse analüüsi mõõtmete kasvava hälbe põhjal. Mooduse olemus seisneb selles, et töödeldud detailide mõõtmise tulemuste alusel leitakse korjuv aritmeetiline keskmine, mida arvutatakse valemiga

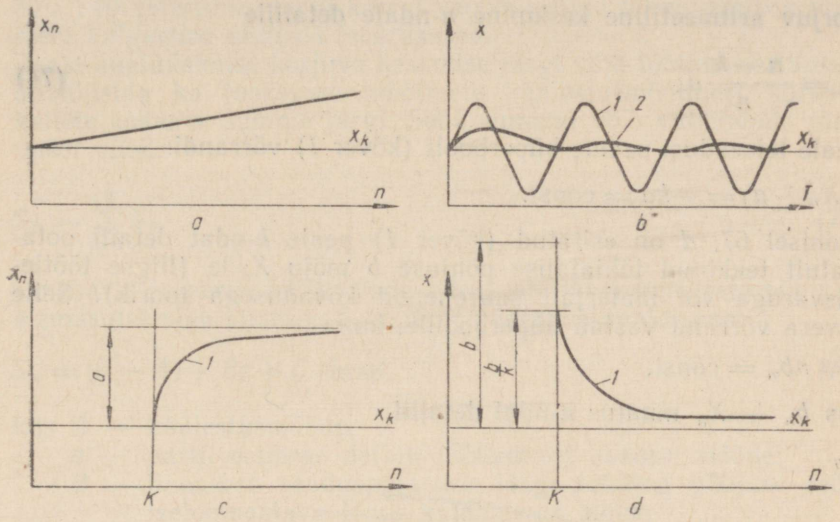
$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - x_k), \tag{72}$$

kus X_n — korjuv aritmeetiline keskmine detailidele alates esimesest;
x_i — i-nda detaili mõõde;
x_k — kogu detailidekogumi aritmeetiline keskmine;
n — detailide arv kogumis.

Töötlemishälbeid esilekutsuvad põhjused võib jaotada kahte põhilisse kategooriasse. Esimese kategooria põhjused saadavad protsessi tema algusest peale ja on pingi tööaja või töödeldud detailide arvu funktsiooniks; niisuguse põhjuse näiteks võiks olla lõikeriista mõõduline kulumine. Teise kategooria põhjused ei sõltu detailide arvust. Need põhjused tekivad töötlemisprotsessis ja on kas pikaajalise või lühiajalise iseloomuga. Mõned põhjused alluvad selgelt väljendunud perioodilisele seaduspärasusele. Nende suurus on protsessi kulgemise aja funktsiooniks. Peale loetletud kindlate põhjuste mõjutab protsessi veel rida juhuslikke põhjusi. Need hälvitavad detailide mõõtmeid võrdtõenäoliselt mõlemale poole kogu detailidekogumi aritmeetilisest keskmisest. Nende põhjuste korjuv keskmine hälve läheneb detailide arvu kasvamisel nullile. Praktiliselt võib juhuslike põhjuste mõju korjuvale keskmisele mitte arvestada.

Korjuva keskmise ilmutatud avaldise võib esitada järgmisel kujul:

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} f(n_i) + \frac{1}{n} \sum_{T=0}^{t} \varphi(t_i) + \frac{1}{n} \sum_{i=k}^{n} a_i + \frac{1}{n} b. \tag{73}$$



Joon. 67. Kõverad täpsuse analüüsimiseks vaatlustulemuste korjuva kogumi põhjal

Selle avaldise esimene liige iseloomustab töödeldud detailide arvust n sõltuva kindla põhjuse mõju. Teine liige väljendab ajast T sõltuva põhjuse mõju. Kolmas liige arvestab püsiva teguri mõju, mis ilmub töötlemisprotsessis mingil ajahetkel ja säilitab oma suuruse detaililt detailile üleminekul. Neljas liige väljendab üksiku lühiajaliselt toimiva põhjuse mõju.

Joonisel 67, *a* on näidatud lineaarset seaduspärasust (väljendab ligikaudu tööriista kulumist) järgiva põhjuse mõju korjuva keskmise muutumisele. Joonisel 67, *b* on esitatud ajas perioodiliselt muutuva põhjuse (kõver *1*) mõju korjuvale keskmisele (kõver *2*). Abstsissteljele on kantud pingi tööaeg ja ordinaatteljele suurus x_n (kõverale *2*). Horisontaalne sirge iseloomustab kogu detailidekogumi aritmeetilist keskmist. Kõver *2*, millel on sumbuv iseloom, läheneb aja kulgedes sellele sirgele. Vaadeldud iseloomuga põhjus esineb töödeldava tooriku mõõdet mõjutava tööpingi osa ekstsentrilise pöörlemise korral. Näiteks esineb taoline nähtus tsentriteta lihvpingi vedava käia ekstsentrilisel pöörlemisel. Joonisel 67, *c* on näidatud (kõver *1*) kestvalt toimiva püsiva põhjuse *a* mõju; põhjus on tekkinud peale k-ndat detaili ja säilitab oma mõju kuni n detailist koosneva partii töötlemise lõpuni.

Korjuv aritmeetiline keskmine n-ndale detailile

$$X_n = \frac{n-k}{n} a. \tag{74}$$

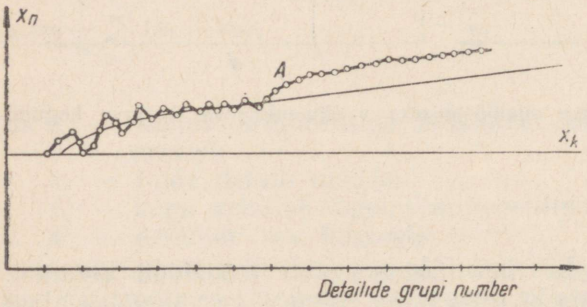
Peale teisendusi saame hüperbooli (kõver *1*) võrrandi:

$$n(X_n - a) = -ka = \text{const.}$$

Joonisel 67, *d* on esitatud (kõver *1*) peale k-ndat detaili ootamatult tekkinud lühiajalise põhjuse b mõju X_n-le (liigse töötlemisvaruga või materjali suurenenud kõvadusega toorik). Selle kõvera võrrand vastab hüperboolile, kuna

$$b = nb_n = \text{const},$$

kus b_n — X_n muutus n-ndal detailil.



Joon. 68. Korjuva keskmise graafik

Mitmesuguste mehaanilise töötlemise meetodite korjuva keskmise graafikuil võib vaadeldud põhjused ära tunda. Joonisel 68 on näitena toodud üks niisugustest graafikutest. Graafiku analüüsist võib teha järgmise järelduse.

Kõvera järkjärguline tõus viitab kindla, süstemaatiliselt toimiva ja töödeldud detailide arvust sõltuva põhjuse toimele. Kõvera algosa sumbuv iseloom näitab perioodilise põhjuse toimet. Kõvera tunduv tõus punktis *A* annab tunnistust kauakestva, püsiva põhjuse ilmumisest, milleks võib olla näiteks tööpingi reguleerituse muutumine.

Vaadeldud täpsuse analüüsi meetod võimaldab avastada ja kõrvaldada töötlemise täpsust vähendavad süstemaatilised põhjused. Vajaduse korral võib igale süstemaatilisele põhjusele anda ka kvantitatiivse hinnangu.

Meetod võimaldab ilmekalt selgitada hüppeid ja perioodilisi kõikumisi kõvera algosas; kuid viimased võivad segi minna juhuslike kõrvalekallete tavaliste kõikumistega.

Selle meetodi puuduseks on kõvera sumbuv iseloom, mis üle

30...40 detaililise partii korral varjab paljud tehnoloogilise protsessi kulgemise olulised iseärasused.
Peale analüüsimise korjuva keskmise järgi võib töötlemise täpsust analüüsida ka jooksvate mõõtmete häälestusmõõtmest kõrvalekallete kasvava summa järgi. Seda summat võib väljendada järgmisel viisil:

$$S_n = \sum_{i=1}^{n} X_i. \qquad (75)$$

Lineaarse ja perioodilise seaduspärasuste järgi toimivate põhjuste olemasolul võib suuruse S_n esitada järgmise avaldisena:

$$S_n = (a - A) + Bt + C \sin \omega t, \qquad (76)$$

kus A — häälestusmõõde;
a — partii esimese detaili töötlemisel saadav mõõde;
B — lineaarse seaduspärasuse järgi toimiva põhjuse mõju iseloomustava joone kaldenurga tegur;
t — aeg;
C — võnkeamplituud tööpingi mehhanismil, mis põhjustab perioodiliselt muutuva töötlemishälbe;
ω — perioodiliselt toimiva põhjuse nurkkiirus rad/s.

Suuruse S_n graafilisel kujutamisel väljendub lineaarse seaduspärasuse järgi toimivate põhjuste mõju paraboolina.
Perioodiliste põhjuste mõju iseloomustab mittesumbuv sinusoid.
Antud meetodi eeliste hulka tuleb lugeda seda, et resulteeriv kõver ei ole sumbuva iseloomuga. Tema analüüsimisel võib välja selgitada lineaarse ja perioodilise iseloomuga põhjused igasuguse detailide arvu juures uuritavas partiis.

6. MEHAANILISE TÖÖTLEMISE TÄPSUSE TÕSTMISE VÕIMALUSED

Täpsuse tõstmine prooviläbimite meetodil töötamisel. Prooviläbimite meetodi kasutamisel sõltub mõõtmete teostamise täpsus töölise kvalifikatsioonist. Kui töödeldakse silindrilist pinda või tasapinda, siis sõltub diametraal- või paksusmõõtme teostamise täpsus lõikeriista laastule seadmise hoolikusest. Avade sisetreimisel korpusdetailides sõltub telgedevaheliste mõõtmete teostamise täpsus puurvõlli seadmise täpsusest töödeldava tooriku suhtes.
Seega sõltub mõõtmete täpsus lõikeriista laastule seadmise hoo-

likusest, aga töödeldavate pindade vastastikuse asendi täpsus tehnoloogiliste siirete järjestikusel teostamisel tooriku või tööriista asendi määramise hoolikusest.

Töödeldava pinna kuju täpsus ei sõltu, peale mõne erandi, töölise kvalifikatsioonist. Iga metallilõikepingis töödeldav pind saadakse tooriku ja lõikeriista liikumiste kinemaatilise seose tulemusena. Kuid rida töölisest sõltumatuid põhjusi rikub nimetatud liikumise seaduspärasust, mistõttu tekivad töödeldava pinna kujuhälbed.

Üheks põhiliseks põhjuseks on tehnoloogilise süsteemi tööpink-rakis-toorik-tööriist deformatsioon lõikejõudude mõjul. Ebaühtlase töötlemisvaru (mis on tingitud tooriku kujuhälbest) ja tehnoloogilise süsteemi muutliku jäikuse tõttu on tooriku ja lõikeriista elastsed lükked muutuva suurusega. Saadavate kujuhälvete vähendamiseks tuleb tehnoloogilise süsteemi jäikust mitte ainult tõsta, vaid ka tema erinevusi tooriku eri ristlõigetes vähendada. Kui tooriku pinna kujuhälve on suur, siis võib tema jälje valmisdetailil vähendada soovitud piirini ettenihke vähendamisega või läbimite (või siirete) arvu suurendamisega.

Lõikeriista mõõduline kulumine põhjustab töödeldava pinna kuju moondumist. Suurte mõõtmetega silindrilise pinna töötlemisel tekib tera mõõdulise kulumise tagajärjel mõningane koonilisus. Selle suurus võib olla kõrvutatav 2...3 täpsusklassi tolerantsiga. Kõrge kvalifikatsiooniga tööline võib tööriista õigeaegse perioodilise ettenihkega sügavuse suunas osaliselt vähendada mõõdulise kulumise mõju kujuhälbele. Väikeste toorikute partii töötlemisel see tegur töötlemise täpsust praktiliselt ei mõjuta; väikeste pindade kuju moondumine on tühine ja kulumise mõju mõõtmele välditakse igakordse lõikeriista individuaalse mõõtuseadmisega.

Mõõdulise kulumise mõju kujuhälbele võib vähendada suurema kulumiskindlusega lõikeriista materjali ja samuti laia lõikeservaga lõikeriista kasutamisega.

Tööpingi geomeetrilised vead ei mõjuta joonmõõtmete täpsust, kuid põhjustavad töödeldavate pindade kuju moondumisi. Nende vigade suurus reglementeeritakse vastavat tüüpi tööpinkide vastuvõtmise riiklike standarditega. Normide piires avaldavad nad pindade kujuhälvetele suhteliselt vähe mõju.

Prooviläbimite meetodil töötlemisel võib tehnoloogilise süsteemi temperatuurne deformatsioon mõjutada töödeldava pinna kujuhälvet juhul, kui töötlemisprotsess kestab kaua ja haarab tööpingi esialgse soojenemise perioodi. Selle teguri mõju väikeste detailide täpsusele võib jätta arvestamata, kuna lühiajalise töötlemisprotsessi kestel on tööpingi soojusliku olukorra muutus tühine.

Pindade kujuhälbed võivad tekkida tooriku deformatsiooni tagajärjel kinnitusjõudude mõjul või tooriku materjalis olevate jääkpingete toimel. Nimetatud tehnoloogilised tegurid ei too endaga

kaasa töödeldavate toorikute mõõtmete muutumist. Mõõtmete muutus tooriku nihkumise tagajärjel kinnitusjõudude toimel on määratud rihtimisveaga tema paigaldamisel tööpingis.

Seega prooviläbimite meetodil töötlemisel mõjub suurem osa tehnoloogilisi tegureid ainult töödeldavate pindade kujuhälvetele. Mõõtmete täpsusele ja detaili pindade vastastikuse asendi täpsusele mõjub tööriista mõõtuseadmise viga ja rihtimise viga tooriku paigaldamisel tööpingis. Kui esimest gruppi tegureid, mis põhjustavad töödeldavate pindade kujuhälbeid, võib lugeda objektiivseks, siis teise grupi tegureid tuleb nimetada subjektiivseteks, kuna nende toime on täielikult sõltuv töölise kvalifikatsioonist.

Rea individuaal- ja väikeseeriatootmises valmistatud detailide (hüdroturbiinide, statsionaarsete sisepõlemismootorite, suurte metallilõikepinkide jt. elemendid) analüüs näitab, et pindade kujuhälbed neelavad tunduva osa (kuni 60% ja rohkem) mõõtme tolerantsist. Seoses sellega on vaja sellist laadi hälbed rangemalt reglementeerida, välja selgitada igal üksikul juhul kõige tähtsamad tegurid, mis põhjustavad nende hälvete teket, ja võtta kasutusele abinõud nende tegurite mõju vähendamiseks.

Täpsuse tõstmine mõõtmete automaatse saamise meetodil töötlemise puhul. Mõõtmete automaatse saamise meetodit kasutatakse väikeste või keskmise suurusega toorikute suurte partiide töötlemisel. Sellistes tingimustes mõjuvad tehnoloogilised tegurid täpsusele teisiti kui prooviläbimite meetodi puhul.

Eelnevalt häälestatud tööpingis töötlemine välistab peaaegu täielikult inimese individuaalse eripära mõju tehnoloogilise protsessi käigule ja saadava toodangu kvaliteedile. Subjektiivsed tegurid mõjutavad töötlemise täpsust tööpingi teostatavale mõõtmele häälestamisel ja järelhäälestamisel. Töölise subjektiivsete omaduste mõju avaldub töödeldavate toorikute kinnitamisel. Pneumaatiliste või muude jõuajamite kasutamine kinnitusmehhanismi käitamiseks väldib praktiliselt töölise mõju töötlemise täpsusele.

Vaatleme tehnoloogiliste tegurite mõju töötlemise täpsusele selle kindlustamise antud meetodi puhul.

Tehnoloogilise süsteemi deformatsioonid lõikejõudude mõjul põhjustavad töödeldava pinna kujuhälbe. Ebaühtlane töötlemisvaru toorikute partiis põhjustab kopeerumise nähtusest tingitud teostatava mõõtme hälbe. Pindade kujuhälbeid võib vähendada tehnoloogilise süsteemi jäikuse suurendamise ja ühtlustamisega ning samuti materjali mehaaniliste omaduste ühtlikkuse parandamisega iga üksiku tooriku piires. Teostatava mõõtme hälbeid detailide partiis võib vähendada süsteemi jäikuse suurendamisega antud lõikes, toorikute mõõtmete tolerantsi vähendamisega ja samuti nende materjali mehaaniliste omaduste ühtlikkuse tõstmi-

sega. Analoogilisel viisil võib tõsta detaili pindade vastastikuse asendi täpsust.

Tooriku paigaldamise viga rakises mõjub teostatava mõõtme ja detaili pindade vastastikuse asendi täpsusele. Lähtamisvead muutuvad mõõte- ja paigalduslähte ühitamisel nulliks. Kinnitusvigu võib tunduvalt vähendada rakise tugede ratsionaalse valikuga, kinnitusjõu suuna ja rakenduspunkti õige valikuga ja kinnitusmehhanismide kasutamisega, mis kindlustavad püsiva kinnitusjõu. Paigaldusvea määramisel tuleb arvesse võtta ka tugede kulum ja muud rakise vead.

Töödeldavate pindade kujuhälbed võivad olla õhukeseseinaliste vähejäikade detailide deformatsiooni tulemuseks kinnitusjõudude mõjul. Need hälbed on iseloomulikud õhukeseseinalistele rõngastele, hülssidele, korpus- ja muudele detailidele. Nende vähenemine saavutatakse töödeldavate toorikute paigaldamise ja kinnitamise ratsionaalse skeemiga.

Lõikeriista kulumine mõjub väikeste detailide töötlemisel praktiliselt ainult nende mõõtmete täpsusele.

Tööpingi geomeetrilised vead, nagu ülalpool öeldud, tingivad pindade kujuhälvete ja nende vastastikuse asendi hälvete tekkimise. Kõnesoleva teguri mõju on ühesugune nii prooviläbimite meetodi kui ka mõõtmete automaatse saamise meetodi korral. Mõlemal juhul põhjustavad tööpingi geomeetrilised vead ühe ja sama töötlemishälbe.

Tehnoloogilise süsteemi soojuslikud deformatsioonid võivad tööpingi soojenemise perioodil, s. o. kuni süsteem saavutab soojusliku tasakaalu, avaldada olulist mõju teostatavate mõõtmete täpsusele. Kui peale seda on toimunud tööpingi järelhäälestus, siis võib edaspidi nimetatud tegurit mitte arvestada. Tehnoloogilise süsteemi soojuslike deformatsioonide mõjul nihkub mõõtmete jagunemiskõvera grupeerumistsenter. Tööpingi kestval seismisel (30 minutit ja rohkem) nihkub grupeerumistsenter vastassuunas. Kui tööpingi soojuslike deformatsioonide mõju on kõrvaldatud tema järelhäälestamisega, tuleb edasi töötada rütmiliselt, ilma pikkade vaheaegadeta.

Jääkpinged tooriku materjalis mõjutavad töötlemise täpsust samuti nagu prooviläbimite meetodil töötlemise korral.

Loetletud hälvete osatähtsus ei ole nende üldises bilansis (summaarses hälbes) püsiv. See sõltub teostatavast operatsioonist (eel- või puhastöötlemine), töötlemise meetodist, tööpingi tüübist ja seisukorrast, tema jäikusest ja teistest teguritest. Eeltöötlemisel on domineeriv tähtsus hälvetel, mis on tingitud tehnoloogilise süsteemi elastsest deformatsioonist lõikejõudude mõjul. Üksikutel juhtudel ulatub nende suurus kuni 30% etteantud mõõtme tole-

rantsiväljast. Puhas- ja viimistlustöötlemisel on nende hälvete osatähtsus tunduvalt väiksem.

Kaasaegsetest kõvasulami markidest plaatidega lõikeriistade mõõdulisest kulumist tingitud hälbed on suhteliselt väikesed. Nende suurus on puhas- ja eeltöötlemisel piirides 10...20% summaarsest hälbest.

Tööpingi häälestusviga moodustab puhastöötlemisel 30...40% ja eeltöötlemisel 20...30%.

Töötlemishälbed, mis tekivad tööpingi geomeetrilise ebatäpsuste tõttu, ulatuvad 10...30%. Tavaliselt on tööpinke valmistavate tehaste jaoks tööpinkide lubatud geomeetriline viga kindlaks määratud piirides 10...15% töötlemise etteantud tolerantsist; kulunud pinkide juures on see protsent mõnevõrra suurem.

Tehnoloogilise süsteemi temperatuursete deformatsioonide tõttu tekkivad hälbed ulatuvad üksikutel juhtudel kuni 10...15% summaarsest hälbest.

Õhukeseseinaliste, vähejäikade ja ebastabiilsete toorikute töötlemisel ulatuvad jääkpingete toimest tingitud hälbed 40%.

Toorikute lähtamise ja rakises kinnitamise ebaratsionaalsete skeemide korral on paigaldusvigadel suhteliselt suur osatähtsus.

Iga konkreetse operatsiooni jaoks on otstarbekohane teha eraldi iseseisev täpsuse analüüs ja selgitada kõige efektiivsemad võimalused selle tõstmiseks. Selline analüüs võib olla kompleksne, kui uuritakse mitte üksikuid operatsioone, vaid protsessi tervikuna. Projekteeritava protsessi täpsusarvutus koosneb järgmistest etappidest.

1. Tehnoloogilise protsessi kõikide operatsioonide ja siirete üksikasjalik analüüs, et välja selgitada üksikute tehnoloogiliste tegurite poolt esilekutsutud esmased hälbed.

2. Arvutuste või normatiivide alusel esmaste hälvete ja nende mõju määramine mõõtmete täpsusele ja muudele toote täpsust iseloomustavatele suurustele.

3. Esmaste hälvete summeerimine üldise (resulteeriva) töötlemishälbe kindlaksmääramiseks iga operatsiooni jaoks.

4. Esmaste hälvete kõrvaldamise või vähendamise võimaluste selgitamine arvutustulemuste analüüsi alusel; selle tulemusena kavandatakse konkreetsed abinõud üksikute operatsioonide teostamise täpsuse tõstmiseks.

Olemasolevate tehnoloogiliste protsesside täpsust võib analüüsida mitte ainult kirjeldatud meetodil, vaid ka statistiliste meetoditega. Täpsusdiagrammide koostamisega võib välja selgitada süstemaatilised jäävad ja süstemaatilised muutuvad hälbed ning kavandada vastavad abinõud nende vähendamiseks või täielikuks kõrvaldamiseks. Korjuva keskmise kõverate koostamisega võib välja selgi-

tada töötlemishälbed, mis muutuvad perioodilise seaduspärasuse järgi.

Mehaanilise töötlemise täpsus sõltub suuresti tööpingi ettenihkeliikumist edasiandva kinemaatilise ahela keerukusest ja selle lülide valmistamise kvaliteedist. Kui kinemaatilist ahelat kasutatakse tööriista lähendamiseks ja mõõtuseadmiseks tema järgneva eemaldamisega lähteasendisse, siis kõige ebasoodsam tulemus saadakse paljulülilise ahela korral, kui selle lülide liidetes on suured lõtkud ja puudub jäik tõke tööriistakelgu (supordi) jaoks. Selline olukord esineb mõnedes poolautomaatpinkides terasupordi või käiapuki radiaalsel ettenihkel (ristettenihkega lihvimisel) nukk-kettalt läbi rea kangide ja hammasülekannete.

Uurimused näitavad, et käigu lõpul ei ole suport täiesti määratud, täpses asendis. Töökäikude mitmekordsel kordamisel võtab antud kinemaatilise ahela viimane lüli, s. o. suport, terakelk või pukk tööriistaga, erinevad asendid, vaatamata täiesti määratud kinemaatiliste sidemete olemasolule. Põhjus seisab selles, et suure arvu lülide ja mitte küllalt täpsete ühenduste korral on võimalikud lülide väikesed nihked üksteise suhtes. Teiselt poolt mõjutab viimase lüli asendi täpsust hõõrdumise hüppeline iseloom. Liikumise väikese, ettenihkeliikumisele vastava kiiruse juures on hõõrdeteguri muutused suhteliselt suured. Ebapiisava määrimise korral ei liigu suport sujuvalt, vaid jõnksukaupa. Selle tagajärjel ei ole võimalik saavutada supordi täpset asendit tema käigu lõpul.

Paigutuste täpsuse suurendamiseks on järelikult vaja lihtsustada ettenihkeliikumise kinemaatilisi ahelaid, tõsta nende lülide ühenduste täpsust ja kõrvaldada supordi liikumise hüppeline iseloom, eriti tema käigu lõpul.

Kasulik abinõu väikeste paigutuste täpsuse tõstmiseks on püsiva pinguse loomine kruvi ja mutri vahel. Sel juhul suureneb paigutuse täpsus antud ühenduse lõtkude koondamise tagajärjel ühele poole.

Nukk-ketastelt, hüdraulilistelt või muudelt seadistelt käitatavates mehhanismides annab häid tulemusi jäikade tõkete kasutamine, mille vastu surutakse suport tema käigu lõpul. Sel juhul tekib ülekandemehhanismi lülides samuti pingus. Mehhanismi purunemise vältimiseks peab üks tema lülidest olema küllalt nõtke.

Pindade töötlemisel pikiettenihkega saadakse suurem täpsus, kui puudub perioodiliselt korduv tööriista lähendamine ja eemaldamine. Kui tööriist paikneb tooriku ühel küljel (ebasümmeetriliselt), siis võivad töötlemisel ilma teda lähendamata ja eemaldamata tekkida tööriista tagasiliikumisel lähteasendisse töödeldud pinnale jooned. Jooni saab vältida tehnoloogilise süsteemi jäikuse

suurendamisega ja tööriistade paigutamisega kahele poole toorikut (sümmeetriliselt).

Soodsad tingimused on silindrilise ava töötlemisel jäiga tööriistaga. Sel juhul kasutatakse ainult ühte, pikisuunalist tööriista liikumist täielikult tasakaalustatud radiaalsete lõikejõudude juures.

Mehaanilise töötlemise täpsust võib tõsta tööpingi spindli laagrite konstruktsiooni parendamisega. Liugelaagrite vahetamisega pretsiissete veerelaagrite vastu saavutatakse real juhtudel radiaallõtkude ja nende mõju vähenemine töötlemistäpsusele.

Täpsuse tõstmine automatiseeritud töötlemisel. Automatiseeritud töötlemisel omandavad täpsuse küsimused erilise tähtsuse. Etteantud töötlemistäpsus kindlustatakse ilma tehnoloogilise protsessi pideva mõjutamiseta inimese poolt. Inimese osa taandub töötlemisprotsessi käigu jälgimisele ja vastavate abinõude tarvituselevõtmisele, kui tekivad häired või kõrvalekaldumised protsessi normaalsest käigust.

Tähtis on kindlustada töötlemistäpsuse stabiilsus ajas ilma teenindava personali sagedase vahelesegamiseta automaatseadiste töösse.

Automatiseeritud töötlemise täpsusele mõjuvad samad füüsikalised tegurid mis muudegi täpsuse kindlustamise meetodite puhul. Kvaliteedilt täiesti ühtlase toodangu saamiseks on vaja sügavalt tunda tehnoloogilise protsessi kulgemise kõiki seaduspärasusi. Tavalises (mitteautomatiseeritud) tootmises kompenseeritakse nähtuste vastastikuse seose ja üksikute tegurite mõju mittetundmine summaarsele hälbele tööpinki teenindava töölise otsese ja pideva või perioodilise vahelesegamisega. Automatiseeritud tootmises on vajalik kõigi protsessi kulgemise tingimuste täpne arvestamine ja oskus reguleerida protsessi ajas.

Automatiseeritud töötlemise resulteerivale hälbele mõjuvad ülalpool vaadeldud tehnoloogilised tegurid. Toodud järeldused ja soovitused täpsuse tõstmiseks on õiged ka automatiseeritud tootmises. Sellele vaatamata võib märkida teatavat spetsiifikat üksikute tegurite mõjus töötlemise esmastele hälvetele.

Hälbed, mis on tingitud tehnoloogilise süsteemi deformatsioonist lõikejõudude mõjul, on täiesti analoogilised nendega, mis tekivad mõõtmete automaatse saamise meetodil töötavates tööpinkides. Üheläbimilisel automatiseeritud töötlemisel on väga raske hoida hälbeid etteantud minimaalsel tasemel spetsiaalsete reguleerivate või järgivate seadiste abil, kuna viimased tüsistavad tunduvalt tööpingi konstruktsiooni. Tavaliselt nende hälvete vähendamiseks suurendatakse ja ühtlustatakse tehnoloogilise süsteemi jäikust, tõstetakse toorikute täpsust, parendatakse töödeldava materjali mehaaniliste omaduste ühtlikkust ja limiteeritakse lõikeriistade

nürinemise aste, mille tagajärjel lõikejõu muutumise piirid ahenevad. Nimetatud piiramisi viiakse automatiseeritud tootmises läbi palju rangemalt, kui seda tehakse tavalise mõõtmete automaatse saamise meetodi korral. Toorikute paigaldusvigu vähendatakse varem vaadeldud abinõude realiseerimisega.

Automatiseeritud tootmisele on iseloomulik lähete püsivuse põhimõtte täielikum rakendamine. See soodustab mitte ainult täpsuse tõstmist, vaid ka töötlemise mitmesuguste operatsioonide rakiste unifitseerimist. Pööratakse rohkem tähelepanu rakiste kulumiskindluse tõstmisele ja nende puhastamisele laastust ning võõrkehadest. Toorikute kinnitamiseks kasutatakse laialdaselt hüdraulilisi ja muid jõuajameid. Toorikute töötlemisel rakis-kaaslastes toimub kinnitamine mehaaniliste seadistega, kuid jõuallikana on eelistatavad samad jõuajamid. Rakis-kaaslaste üleandmisel viimasest positsioonist lähtepositsiooni lastakse nad läbi laastust puhastavast seadisest.

Tooriku ja rakise elementide deformatsioonist tingitud töötlemishälvete vähendamiseks kasutatakse antud juhu jaoks ratsionaalsemaid lähtamise ja kinnitamise skeeme.

Lõikeriista mõõduline kulumine mõjub väikeste toorikute automatiseeritud töötlemisel ainult mõõtmete täpsusele. See mõju reglementeeritakse tööriista sundvahetusega peale kindlaksmääratud tööaega ja automaatsete järelhäälesturide kasutamisega. Lihvpinkides kasutatakse laialdaselt seadiseid ettenihke väljalülimiseks ja pingi seiskamiseks etteantud mõõtme saavutamise järgi. Järelhäälestamine automatiseeritakse käia ettenihkeahela kasutamisega, mis lülitub mõõteanduri käskluse kohaselt.

Tehnoloogilise süsteemi temperatuursete deformatsioonide mõju töötlemise täpsusele kõrvaldatakse varemmärgitud abinõude rakendamisega ja samuti järelhäälesturide kasutamisega.

Tööpingi geomeetrilised ebatäpsused põhjustavad kuju ja detaili pindade vastastikuse asendi süstemaatilisi jäävaid hälbeid. Nende hälvete vähenemine kuni vajaliku suuruseni saavutatakse tööpingi geomeetriliste ebatäpsuste vastava vähendamisega, aga samuti tööpingi kulumiskindluse tõstmisega ja sobivate reguleerimisvahendite tarvituselevõtmisega.

Automatiseeritud töötlemise täpsuse suurendamine saavutatakse põhiliselt samal viisil kui tavalistes tööpinkides mõõtmete automaatse saamise meetodil töötlemisel. Peale selle võib üksikuid hälvete liike kõrvaldada töötlemisprotsessi reguleerivate aktiivse kontrolli vahenditega. Küllalt stabiilsete ja hästi läbiuuritud protsesside jaoks võib soovitada aktiivseid kontrollivahendeid kindla ajavahemiku järel sisselülituva automaatse järelhäälesturiga. Sel meetodil võib kõrvaldada süstemaatilisi muutuvaid hälbeid.

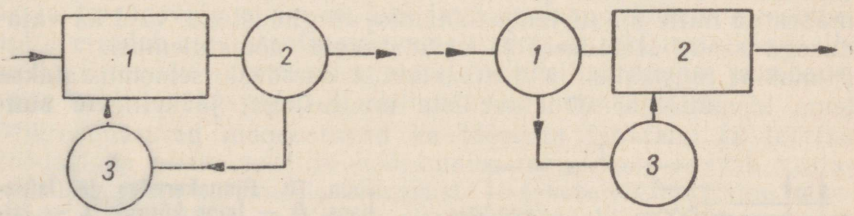
Teostatava mõõtme süstemaatilised ja juhuslikud hälbed kõrval-

datakse töödeldavalt toorikult pidevat käsklust saava automaatse järelhäälesturiga aktiivse kontrolli vahenditega. Seda meetodit kasutatakse laialdaselt lihvimisel ja muudel töötlemise menetlustel, kus etteantud mõõde saadakse tööriista järjekindla liginemisega töödeldavale toorikule.

Teistel üheläbimilise töötlemise menetlustel kasutatakse aktiivse kontrolli vahendeid automaatsete järelhäälesturidega, mis saavad käskluse ühelt või mitmelt eelnevalt töödeldud detaililt. Sel meetodil kõrvaldatakse süstemaatilised muutuvad töötlemishälbed. Juhuslikud hälbed aga jäävad. Nende seadiste töötamise põhimõte seisneb selles, et antud pinki sisseehitatud mõõteriista impulsi mõjul rakendub relee, mis tüürib tööpingi häälestust korrigeerivat mehhanismi. Ühe detaili mõõtmise tulemused on ebapiisavad häälestuse põhjendatud ja usaldusväärseks korrigeerimiseks. Kvaliteetsema resultaadi kindlustab käsklus statistiliste karakteristikute alusel. Käesoleval ajal on tuntud tüürivad seadised (statisrollid), mis korrigeerivad häälestust mitme detaili mõõtetulemuste aritmeetilise keskmise alusel. On tuntud ka summeerivate seadiste kasutamine automaatliinides, et saada impulsid mitte ühe, vaid töödeldava toote kvaliteedi mitme näitaja alusel. Nende impulsside alusel toimub agregaatide seiskamine ja järelhäälestamine antud toodangu kõlblikkuse piire ületavate hälvete kõrvaldamiseks.

Tööpingi töö skeem nimetatud tüürivate vahendite kasutamisega on toodud joonisel 69, *a*. Töödeldud detail (või detailide grupp) antakse tööpingist *1* mõõteseadisesse *2*. Mõõtetulemused antakse käskluse kujul reguleerivasse seadisesse *3*, mis korrigeerib tööpingi *1* häälestust.

Joonisel 69, *b* on toodud teise tüüriva seadise skeem. See sisaldab mõõteseadise *1* toorikute jaoks, mis saabuvad tööpinki *2*. Iga üksiku tooriku mõõtme (ja kõvaduse) määramise tulemused antakse reguleerivasse seadisesse *3*, mis korrigeerib eelnevalt tööpingi häälestust. Selle tulemusena saab tunduval määral vähen-

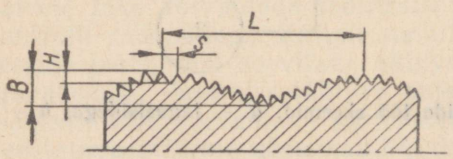


Joon. 69. Automaatsete järelhäälesturide töö skeemid: *a* — tagasisidega; *b* — eelneva reguleerimisega

dada juhuslikke hälbeid, mis tekivad muutuva töötlemisvaru, toorikute materjali ebaühtlikkuse ja toorikute tööpingis paigaldamise vigade tõttu.
Eelnevalt häälestatud tööpingis töötlemisel võib reguleeriv seadis kompenseerida töötlemisvaru ja materjali mehaaniliste omaduste muutuse tooriku ettenihkega lõikeriista poole (suurema töötlemisvaru ja materjali suurema kõvaduse korral) või tooriku ettenihkega sellest eemale.
Laup- ja silindrilisel freesimisel on võimalik reguleerimine ka töölaua pikiettenihke pideva (astmeteta) muutmisega. Suurema töötlemisvaru lõikamisel vähendatakse ettenihke kiirust ja tehnoloogilise süsteemi elementide elastne lüke kahaneb. Taoline reguleerimise meetod on täiesti võimalik, kuna töödeldud pinna karedus sõltub pikiettenihkest vähe.
On võimalik ka joonisel 69, *a* ja *b* toodud skeemide ühendamine. Sel juhul võib saavutada juhuslike, süstemaatiliste jäävate ja süstemaatiliste muutuvate töötlemishälvete kõrvaldamise.

7. DETAILIDE JA TOORIKUTE PINNA KVALITEET

Pinna kvaliteedi mõiste. Detailide ja toorikute pinna kvaliteeti iseloomustatakse pinnakareduse ja lainelisusega, aga ka pinnakihi füüsikaliste ja mehaaniliste omadustega.
Pinnakareduseks nimetatakse detaili pinna reljeefi moodustavate, suhteliselt väikese sammuga konaruste kogumit, mida vaadeldakse teatava kindla (lähte-) pikkuse ulatuses.
Pinna lainelisuseks (joon. 70) nimetatakse perioodiliselt vahelduvate kõrgendite ja süvendite kogumit, mis moodustavad pinna ebatasasuse, kus naaberkõrgendite või -süvendite vaheline kaugus on suurem kui pinnakareduse mõõtmiseks võetud lähtepikkus. Lainelisus on geomeetrilise kuju hälvete ja pinnakareduse vahepealne nähtus.
Pinnakaredus ja lainelisus on seotud mõõtmete täpsusega. Suurele täpsusele vastab alati pinna väike karedus ja lainelisus. See on määratud mitte ainult toote töötamise tingimustega, vaid ka vajadusega saada stabiilseid ja usaldatavaid mõõtetulemusi.
Pinnakihi füüsikalisi ja mehaanikalisi omadusi iseloomustatakse tema kõvadusega, struktuuriliste muutustega, jääkpingete suu-



Joon. 70. Pinnakaredus ja lainelisus: *B* — laine kõrgus; *L* — laine samm; *H* — mikrokonaruste (kareduse) kõrgus; *S* — mikrokonaruste samm

ruse ja märgiga ning metalli kristallvõre deformatsioonide sügavusega.

Töödeldud pindade kvaliteet valmisdetailil sõltub suurel määral lõpptöötlemise operatsioonist; töötlemata pinnad säilitavad kvaliteedi, mis on tekkinud tooriku valmistamise protsessis.

Masinaosade pinna kvaliteedi vajalike näitajate saavutamise ja nende teataval tasemel hoidmise ülesannet täidab kogu tehnoloogiline protsess.

Pinnakaredus ja lainelisus. Pinnakaredus ja lainelisus kujutavad endast pinna kvaliteedi hindamise tähtsaid tegureid.

Tegurid, mis mõjutavad karedust ja lainelisust. Metallide lõiketöötlemisel kujuneb töödeldud pinnale kindel mikrogeomeetria (karedus). Ettenihkeliikumise sihis mõõdetud karedust nimetatakse põikkareduseks ja pea-tööliikumise sihis, kus toimub lõikamine, mõõdetut — pikikareduseks. Tavaliselt iseloomustab pikikaredust väiksem konaruste kõrgus kui põikkaredust. Pinna karedus sõltub töötlemise meetodist ja režiimist, tööriista geomeetriast ja lõikeservade plankimise kvaliteedist, töödeldava materjali omadustest ja ka töötlemise tingimustest (jahutusvedeliku liigist, tooriku kinnitamise viisist, töötlemisprotsessis tekkivast vibratsioonist). Igale töötlemise meetodile on omane kindel mikrokonaruste kõrguste diapasoon ja nii- või teistsugune joonte asetuse pilt töödeldud pinnal.

Standardsete terade ja freesidega töötlemisel avaldavad lõikerežiimi elementidest pinnakaredusele kõige suuremat mõju ettenihe ja lõikekiirus. Tööriista lõikeserva kuju mõjutab samuti pinnakaredust. Kuid mikrokonaruste moodustamist ei saa selgitada ainult lõikeriista tooriku materjalis liikumise jälgedega. Pinnakaredust mõjutavad lõikeserva all olevate materjalikihtide plastsed haardumise ja rebenemise nähtused (terastoorikute töötlemisel) ja materjaliosakeste rabeda väljamurdumise nähtused (hallmalmist ja kõvadest värvilistest metallidest toorikute töötlemisel). Terastoorikute töötlemisel soodustab tööriista lõikeserval teatavas lõikekiiruste vahemikus perioodiliselt tekkiv terakasvaja pinnakareduse suurenemist. Suurtel lõikekiirustel karedus väheneb, kuna terakasvaja enam ei teki ja suurenenud lõiketemperatuuri tõttu eraldab tera laastu sujuvamalt ning ei rebi metallikristalle välja. Ettenihke suurenemisel metallikihtide haardumise ja rebenemise nähtused kasvavad ja suurendavad pinnakaredust.

Mikrokonarused moodustuvad ka tööriista tagatahu ja tooriku töödeldava pinna vahelise hõõrdumise mõjul, mis kasvab vastavalt lõikeriista kulumisele. Konaruste ja täkete vähendamine lõikeserva plankimisega soodustab siledama töödeldud pinna saamist. Pinnakaredust mõjutavad tooriku materjali mehaanikalised omadused, keemiline koostis ja struktuur. Pehmest, väikese süsiniku-

sisaldusega terasest toorikute töötlemisel saadakse karedam pind kui kõvast, suurema süsinikusisaldusega terasest toorikute töötlemisel. Suurendatud väävlisisaldusega terasest (automaatterased) ja pliid sisaldavast terasest toorikute lõikepind on siledam kui tavalistest terastest toorikutel. Peeneteralise struktuuriga terasest toorikud on paremini töödeldavad kui toorikud jämedateralise struktuuriga terasest. Lehekujulise perliitstruktuuriga terasest toorikud on raskemini töödeldavad kui toorikud keraperliidiga terasest.

Tehnoloogilise süsteemi vibratsioon muudab perioodiliselt tööriista lõikeserva asendit töödeldava pinna suhtes ja tekitab sellel eendeid ning süvendeid. Vibratsiooniprotsessi mõjutavad: süsteemi jäikus (ja eriti tooriku paigalduse ning kinnituse jäikus), lõtkud süsteemi lülides, pöörlevate osade tasakaalustamatus, ajami defektid ja muud põhjused.

Võnkumise sagedusest ja amplituudist olenevalt muutuvad pinnakonaruste kuju ja mõõtmed. Võnkumise suhteliselt väikese sageduse ja suure amplituudi korral tekib töödeldaval pinnal lainelisus. Lainelisus ja mikrokonarused võivad pinna üksikutes piirkondades olla erinevad vastavalt tehnoloogilise süsteemi jäikuse erinevustele töödeldava tooriku eri ristlõigetes.

Mustade toorikute pinnakaredus kujuneb nende saamise tehnoloogiliste tingimuste mõjul. Professor, tehnikadoktor V. M. Kovani uurimuste alusel iseloomustavad toorikute pinnakihti järgmised andmed.

Valtsmetalli pinnale jäävad valtsirullide pinnavigade jäljed. Vastavalt rullide kulumisele halveneb valtsmetalli pind. Kuumvaltsmetalli pinnakonaruste kõrgus on tavaliselt alla 150 μm, külmalttõmmatud valtsmetallil aga alla 40 ... 50 μm.

Sepiste pinnakonaruste kõrgus sõltub sepistamise meetodist. Kõige krobelisem pind suurte, 1,5 ... 4 mm konarustega saadakse vabasepistamisel. Kuumaltstantsitud sepiste pinnale jäävad tagakihi jäljed ja kopeeruvad stantside pinnavead; seejuures on pinna mikrokonaruste kõrgus sõltuvalt sepise kaalust ja stantside seisukorrast piirides 150 ... 500 μm.

Valandi pind kopeerib suuremal või vähemal määral valuvormi pinda. Väikeste, käsitsi vormitud muldvormidesse valatud valandite pinnakonarused ulatuvad kuni 500 μm, suurtel aga kuni 1500 μm ja sõltuvad vormisegu tera suurusest, vormi tihedusest, tema viimistlemise hoolikusest ja teistest teguritest. Masinvormimisega muldvormidesse valamisel ulatub pinnakonaruste kõrgus 300 μm, kokill- ja tsentrifugaalvalu korral 200 μm ja survevalu puhul 5 ... 10 μm. Väljasulatatavate mudelite abil valamisel on valandite pinna mikrokonaruste kõrgus 8 ... 40 μm.

Pinnakareduse mõju masinaosade ekspluatatsioonilistele omadustele. Kaaspindade kareduse ja lainelisuse tõttu osutub faktiline kontaktipindala nominaalsest väiksemaks. Pindade kontakt toimub üksikute piirkondade kaupa, mille summaarne pindala moodustab toetuspinna.

Tegelik kontaktipind töökoormusel sõltub ka pinnakihi kõvadusest, elastsusest, plastsusest ja selle teistest töötlemisprotsessi käigus tekkinud füüsikalistest omadustest.

Liikuvate istude korral mõjutab pinnakaredus hõõrduvate pindade esmase kulumise (sissetöötamise) kulgemise iseloomu.

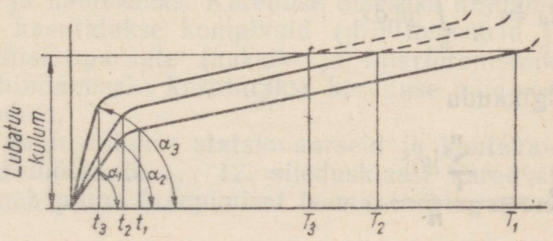
Sissetöötamisel põhjustavad kaaspindade pinnakonarused kohalikke õlikihi katkemisi ja kõige rohkem eenduvad konarused purustatakse. Esmase kulumise tagajärjel suureneb lõtk kaaspindade vahel ja ist hälvib projekteeritust. Joonisel 71 on toodud kulumise kõverad erinevail meetodeil töödeldud erineva karedusega pindadele. Abstsissteljele on kantud liite töötamise aeg, ordinaatteljele — kulum. Kolme erineva karedusega pinna esmast kulumist iseloomustavad kõverate osad tõusunurkadega α_1, α_2 ja α_3 ning kulumise kestustega t_1, t_2 ja t_3. Ekspluatatsioonilist kulumist iseloomustab kõikidel juhtudel kulumiskõverate ühesugune tõusunurk, mis on omane antud materjalidele ja töötamise tingimustele. Seega on hõõrduvate paaride töö kestused T_1, T_2 ja T_3 kuni lubatud kulumini erinevad sõltuvalt pindade karedusest.

Kulumist ei mõjuta mitte ainult mikrokonaruste kõrgus, vaid ka töötlemisjälgede siht pindade libisemise sihi suhtes.

Praktika näitab, et kindlates tingimustes hõõrduvate paaride kareduse vähendamine nende kulumiskindluse suurendamiseks on otstarbekohane kuni teatava piirini. Väga siledatel pindadel püsib õli halvemini, seepärast on võimalik kuiva hõõrdumise tekkimise tõttu kulumise suurenemine ja kaasdetailide haardumine.

Masinaosade kulumist mõjutavad ka pindade lainelisus ja nende kuju makrogeomeetrilised hälbed. Seejuures on makrogeomeetriliste hälvete mõju suurem kui pinnakaredusel.

Pinguga istu tugevus sõltub samuti suuresti pinnakaredusest. Detailide kokkupressimisel mikrokonarused tasanduvad ja tegelik



Joon. 71. Pindade kulumise kõverad liikuva istu korral

ping väheneb. Karedamate pindade korral väheneb ping ja järelikult ka liite tugevus rohkem.

Mikroprofiili süvendid on sisuliselt sisselõigeteks pinnal ja mõjutavad suurel määral pingete kontsentratsiooni ning tsüklilise ja märki muutva koormuse tingimustes väsimuspragude tekkimist. Pingete kontsentratsiooniaste mikroprofiili süvendi põhjas määratakse kontsentratsioonitegurigа. Selle suurus on lõikamisega töödeldud pindade jaoks piirides 1,5 ... 2,5.

Pinnakareduse mõju löögilise purunemise tugevusele on rohkem märgatav kõvadest terastest toorikutel ja vähem pehmest terasest toorikutel.

Pinnakaredusest sõltub liite kontaktijäikus. Näiteks metallilõikepingi juhikute mikrokonaruste kõrguse muutmine kaabitsemisel 5 ... 7 μm-ilt kuni 10 ... 12 μm-ni vähendab kontaktijäikust kolm korda.

Metallkonstruktsioonide korrosioonikindluse jälgimine on näidanud, et atmosfääritingimustes tekib korrosioon kergemini ja levib kiiremini jämedalt töödeldud pindadel. Agressiivses keskkonnas avaldub kareduse mõju korrosioonikindlusele nõrgalt.

Pinnakaredus avaldab mõju määrimise tingimustele, põkkude soojusjuhtivusele, põkkude hermeetilisusele liites, pinna peegeldus- ja neelamisomadustele, gaaside ja vedelike voolamise tingimustele torudes, hüdrauliliste masinate detailide vastupanule kavitatsioonilisele purunemisele ja teistele liidete ja pindade omadustele. Kõik see nõuab tootmisel kindlaksmääratud pinnakareduse kindlustamist ja selle kontrollimist.

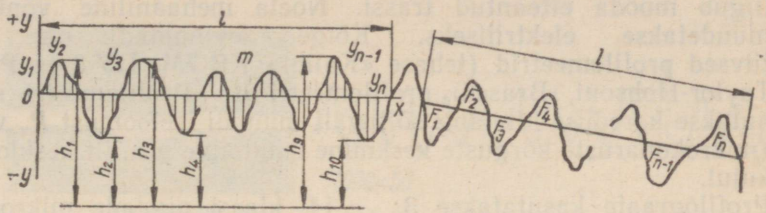
Kareduse kriteeriumid ja sileduse klassid. Pinnakareduse standardiga (ГОСТ 2789-59) on määratud 14 sileduse klassi: 1. klassile vastab kõige karedam ja 14. klassile kõige siledam pind. Kareduse kvantitatiivseks hindamiseks lähtepikkusel l on ГОСТ 2789-59 järgi ette nähtud kaks kriteeriumi (joon. 72).

Profiili hälvete aritmeetiline keskmine R_a on mõõdetud profiili punktide (y_1, y_2, ..., y_n) keskmine kaugus selle keskjoonest. Kaugused keskjoonest summeeritakse algebralist märki arvestamata:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| \, dx,$$

ligikaudu

$$R_a = \frac{\sum_1^n |y_i|}{n}.$$



Joon. 72. Kareduse määramise skeem (standardist - ГОСТ 2798-59)

Konaruste kõrgus R_z on lähtepikkuse ulatuses olevate eendite viie kõige kõrgema punkti ja süvendite viie kõige madalama punkti vaheline keskmine kaugus, mis on mõõdetud keskjoonega paralleelsest joonest.

$$R_z = \frac{(h_1 + h_3 + \ldots + h_9) - (h_2 + h_4 + \ldots + h_{10})}{5}.$$

Profiili keskjoon m jaotab mõõdetud profiili nii, et lähtepikkuse ulatuses profiili punktide kauguste (y_1, y_2, ..., y_n) ruutude summa kuni selle jooneni on minimaalne. Lähtepikkuse ulatuses on pindalad mõlemal pool seda joont kuni profiili jooneni omavahel võrdsed:

$$F_1 + F_3 + \ldots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + \ldots + F_n.$$

Standardiga reglementeeritakse karedus alates $R_z = 320$ μm ja $R_a \leqslant 80$ μm (1. klass) kuni $R_z = 0{,}05$ μm ja $R_a \leqslant 0{,}01$ μm (14. klass); seejuures tuleb mõõtmised teostada igale klassile reglementeeritud lähtepikkusel. Klassidele 6 ... 12 on põhiliseks R_a skaala, aga klassidele 1 ... 5, 13 ja 14 — R_z skaala. Kareduse hindamise peenemaks gradatsiooniks jaotatakse 6. ... 14. klass järkudeks, mida tähistatakse tähtedega *а*, *б*, *в*.

Pinna lainelisuse ja kareduse mõõtmise ning hindamise meetodid. Pindade karedust hinnatakse tsehhis detailide kontrollimisel ja vastuvõtmisel ning ka uurimistöödel laboratoorsetes tingimustes. Kasutatavad hindamise meetodid võib jaotada otsesteks ja kaudseteks. Kareduse otseseks hindamiseks (mikromeetrites) kasutatakse kompivaid (profilomeetrid ja profilograafid) ja optilisi aparaate (kaksik- ja interferentsmikroskoobid). Kaudseks hindamiseks kasutatakse kareduse näidiseid ja integraalseid meetodeid.

Profilomeetreid valmistatakse statsionaarseid ja kantavaid ning nad võimaldavad mõõta 5. ... 12. siledusklassi karedust. Profilomeetri töö põhineb pinna kompimisel teemantnõelaga, mis

liigub mööda etteantud trassi. Nõela mehaaniline võnkumine muudetakse elektriliseks. Kõige levinumad on induktiivsed profilomeetrid (tehase «Kalibr» КВ-7М, ПУ-3 ja Philipsi, Taylor-Hobsoni, Braschi profilomeetrid). Profilomeetri skaalal antakse kareduse hinnang sõltuvalt muundi iseloomust R_a või H_{ek} (mikrokonaruste kõrguste keskmine ruuthälve profiili keskjoonest) kujul.

Profilograafe kasutatakse 3. ... 14. klassi pindade mikroprofiili üleskirjutamiseks profilogrammide kujul. Profilogrammi järgneval töötlemisel võib saada antud pinna kohta R_a ja R_z väärtuse. Profilograafid on ette nähtud laboratoorseteks uurimisteks ega sobi detailide kontrollimiseks tsehhis.

Optilis-mehaanilises profilograafis kujundatakse profilogramm valguskiirega filmile või kirjutava seadise sulega paberlindile.

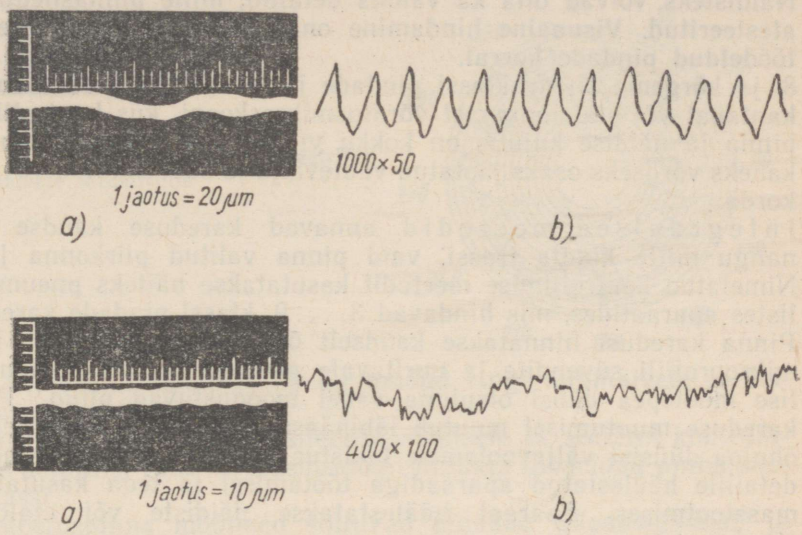
Profilogrammide võtmisel on vertikaalne suurendus tunduvalt suurem kui horisontaalne. Nii näiteks on tehase «Kalibr» profilograafiga võimalik mõõta 5. ... 14. klassi karedust vertikaalse suurendusega 1000 kuni 200 000 korda ja horisontaalse suurendusega 2 kuni 4000 korda.

Pehmetest materjalidest detailide pinnakareduse mõõtmisel kompivate aparaatidega täheldatakse detaili pinna kriimustamist, vaatamata nõela väga väikesele survele. Nõela ümardusraadius 10 ... 12 μm ei võimalda tal tungida kitsastesse ja sügavatesse süvenditesse ja neid kajastada profilogrammil või konaruste kõrguse arvulises väljendis.

Kaksikmikroskoop МИС-11 (akad. V. P. Linniku konstruktsioon) on ette nähtud 3. ... 9. sileduskласsiga pindade kareduse mõõtmiseks. Selles aparaadis valgustatakse pinnakonarusi valgusribaga, mis suunatakse valgustustuubusest teatava nurga all kontrollitavale pinnale. Valgusriba ja mikrokonaruste lõikejoon on suurendatud kujul jälgitav vaatlustuubuses. Mikrokonarusi mõõdetakse okulaarkruvimõõdiku abil või fotografeeritakse. Vahetatavate objektiividega saadakse suurendused 87, 157, 270 ja 517 korda. Aparaadis mõõdetakse pinnakaredust parameetri R_z järgi. Aparaadi puudused — väike joonvaateväli (2 ... 0,33 mm) ja tulemuste mõõtmise ning arvutamise vajalikkus. Meetodit kasutatakse laboratoorsel uurimistööl ja valikkontrollil.

Joonistel 73 ja 74 on näitena toodud kaksikmikroskoobiga (*a*) ja profilograafiga ИЗП-17 (*b*) saadud profilogrammid.

Mikrointerferomeetreid kasutatakse 10. ... 14. sileduskласsiga pindade kareduse mõõtmiseks parameetri R_z järgi. Aparaadi vaateväljas on näha vaadeldaval pinnaosal olevate mikrokonaruste profiilile vastavalt kõverdunud interferentsijooned. Nende kõveruste suurust mõõdetakse suurendusel 490 korda okulaarkruvimõõdikuga. Fotografeeritakse suurendusel 290 korda.



Joon. 73. 6. pinnasilediusklassi järgi treitud terase pinna profilogrammid

Joon. 74. 8. pinnasilediusklassi järgi lihvitud terase pinna profilogrammid

Aparaadi väike vaateväli fotografeerimisel lubab teda vastavalt lähtepikkusele kasutada ainult 13. ... 14. klassi juures. Meetodit kasutatakse laboratoorsetel uurimistöödel ja pretsiissete detailide tööstuslikul kontrollimisel.

Võrdlemise meetod seisneb kontrollitava detaili pinna võrdlemises pinnakareduse atesteeritud näidistega. See on kõige lihtsam ja kiirem moodus tööstuslike detailide kontrollimiseks tsehhi tingimustes. Mõningate kogemuste korral võivad kontrolörid küllalt kindlalt määrata kontrollitavate detailide sileduskiassi. Selleks on vaja, et näidised oleksid valmistatud samast materjalist, millest kontrollitavad detailidki, kuna materjali (teras, malm, värvilised metallid jt.) peegeldusvõime avaldab pinnakareduse silmaga hindamisele olulist mõju. Näidised tuleb mehaaniliselt töödelda samal meetodil, millega töödeldakse kontrollitavaid detaile. Näidised tuleb valmistada antud sileduskiassi konaruste kõrguse maksimaalse piiri järgi. Sel juhul on lihtsam eristada kahe naaberklassi näidiseid. Näidistel peavad olema passid, kus on näidatud nende valmistamisel kasutatud materjal, termiline töötlemine, mehaanilise töötlemise meetod, lõikerežiim, jahutusvedelik ja lõikeriista geomeetrilised parameetrid. Need passid orienteerivad tehnoloogi lõikerežiimi ja teiste töötlemise tingimuste määramisel detailide pinnasileduse etteantud klassi saamiseks.

Näidisteks võivad olla ka valmis detailid, mille pinnasiledus on atesteeritud. Visuaalne hindamine on subjektiivne, eriti peeneltöödeldud pindade korral.

8. ja kõrgema sileduskласsi pindade jaoks soovitatakse kasutada kantavat või statsionaarset võrdlusmikroskoopi, kus kontrollitava pinna ja näidise kujutis on kokku viidud ühe ja sama okulaari kaheks võrdseks osaks jaotatud vaatevälja ja suurendatud 10...50 korda.

Integraalsed meetodid annavad kareduse kaudse hinnangu mitte kindla trassi, vaid pinna valitud piirkonna järgi. Nimetatud kontrollimise meetodit kasutatakse näiteks pneumaatilistes aparaatides, mis hindavad 3. ...9. klassi pindade karedust. Pinna karedust hinnatakse kaudselt õhu hulga järgi, mis läbib mikroprofiili süvendite ja uuritavale pinnale toetuva pneumaatilise mõõtepea düüsi otspinna vahel moodustuvad pilud. Pinna kareduse muutumisel muutub läbipääsu ristlõige ja koos sellega õhujoa düüsist väljavoolamise takistus. Meetod on sobiv kindlale detailile häälestatud aparaadiga töötamisel ja teda kasutatakse masstootmises. Aparaat häälestatakse näidiste või etalonide järgi.

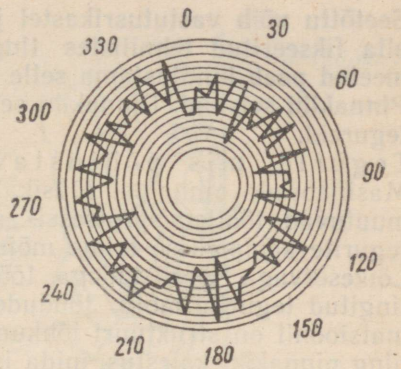
Pinnakaredust võib kindlal pindalal kaudselt hinnata elektrilise mahtuvuse mõõtmisega detaili ja metallplaadi vahel, mis on eraldatud dielektrikuga. Pinna kareduse vähenemisel kondensaatori mahtuvus suureneb.

On teada ka teisi kareduse integraalse hindamise meetodeid (kindla jõuga kontrollitava pinna vastu surutud grafiitpulga kulumi järgi, detailile langeva valguse peegeldunud hulga järgi jt.).

Pinna lainelisust võib mõõta kareduse mõõtmise profilograafiga; selleks tuleb ainult mõõtmise trassi pikendada ja kasutada teraviku suurema ümardusraadiusega nõela. Võib kasutada optimeetreid ja mikromeetrilisi indikaatoreid. Silindriliste detailide kontrollimiseks kasutatakse tehase «Kalibr» aparaati mudel 218. Seda tüüpi välismaistest aparaatidest on tuntud firma Taylor-Hobsoni (Inglismaa) aparaat «Teliround».

Lainelisuse mõõtmiseks kasutatakse ka spetsiaalseid aparaate. Nii on näiteks Autotööstuse Tehnoloogia Teadusliku Uurimise Instituudi (НИИТАвтопром) aparaat ette nähtud 20...100 mm läbimõõduga 150...1000 mm pikkusega detailide lainelisuse kontrollimiseks piki moodustajat ja mööda ringjoont vertikaalse suurenduse juures 500...10 000 korda.

Kujuhälbeid ja lainelisust mööda ringjoont mõõdetakse tehase «Kalibr» ja firma Taylor-Hobsoni «Teliround» aparaatidega. Üleskirjutamine toimub polaarkoordinaatides suurendusega 50... 10 000 korda; seejuures võib lainelisuse ja kujuhälbed fikseerida



Joon. 75. Lainelisuse ja geomeetrilise kuju hälvete üleskirjutis

koos või eraldi. Joonisel 75 on toodud ringi kujuhälvete ja lainelisuse üleskirjutis.

Kui asetada aparaat pinnasileduse näidisele ja seejärel kontrollitavale detailile, võib võrdlusmeetodil hinnata töödeldud pinna sileduse klassi.

Mikrotoetuspinna mõõtmed sõltuvad pindade sileduse klassist ja töötlemise meetodist. Nii moodustab mikrotoetuspind kareduse kõrguse korral 2,5 ... 8 μm peale hõõritsemist ja lihvimist 10%, aga peale puhastreimist ja freesimist 25%; kareduse kõrguse korral 0,8 ... 2,5 μm peale hõõritsemist, kammlõikamist ja lihvimist moodustab mikrotoetuspind 40%. Teemanttreimisel ja tavalisel soveldamisel ulatub see 63%, aga peenlihvimise, väga hoolika soveldamise ja superfiniši järel 80 ... 90%.

Kuna kaaspindade kontakt toimub üksikute mikrokonaruste teineteisega kokkupuutumisena, siis on suure tähtsusega mikrokõrgendite samm, nende kuju ja asetus pinnal.

Kaaspindade mehaanilise töötlemise joonte suund teineteise ja tööliikumise sihi suhtes on pindade ekspluatatsioonis tähtsaks näitajaks. Töötlemisjooned võivad olla sirged (höövеldamisel, kammlõikamisel, tõukamisel), võivad paikneda spiraalidena (treimine, otspinna treimine), võivad paikneda lõikuvate spiraalidena (hoonimine), ringjoontena (kujuteraga treimine), trohhoididena (laupfreesimine) või omada veel keerukamat kuju.

Nõuete püstitamist joonte asendile seoses ekspluatatsioonitingimustega ei ole piisavalt uuritud. Kuid on teada, et joonte asend mõjutab mitmesuguste erisurvete juures töötavate pindade kulumiskindlust, liikuvate ja pressistude töövõimet ja gaaside ning vedelike voolamise takistust.

Nii tõuseb poolvedelikulise hõõrdumise tingimustes kulumiskindlus joonte vastastikuse perpendikulaarse või sellele ligidase asetuse korral; sama asetus vähendab piirhõõrdumise tingimustes pindade haardumise ohtu.

Seetõttu võib vastutusrikastel juhtudel nõue joonte asendi kohta olla fikseeritud tehnilistes tingimustes ja pinna lõpptöötlemise meetod peab kindlustama selle nõude täitmise.

Pinnakihi seisund. Pinnakihi seisundit mõjutab rida tehnoloogilisi tegureid.

Tegurid, mis põhjustavad muutusi pinnakihis. Masinaosade pinnakihi füüsikalised ja mehaanikalised omadused muutuvad töötlemisprotsessis soojuslike ja jõududest tingitud tegurite kompleksse toime mõjul.

Lõikeservaga tööriistadega töötlemisel on ülekaalus jõududest tingitud tegurite mõju. Jõudude toime tagajärjeks plastsel deformatsioonil on struktuuri lõhkumine, kristallide pöörded ja nihked ning pinnakihi kalestus, mida iseloomustavad mikrokõvaduse suurenemine ja sitkuse vähenemine.

Terasdetailide pinnakihis täheldatakse kolme tsooni:

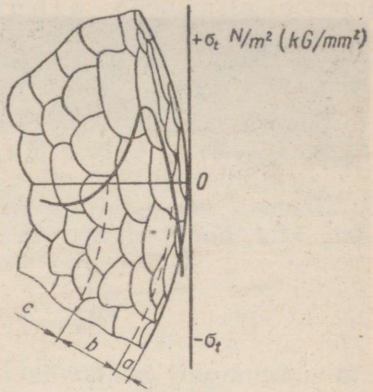
a) teravalt väljendunud deformatsiooni tsoon; seda iseloomustavad kristallivõre suured moonutused, peenendunud terad, struk-





Joon. 76. Metalli pinnakihi mikrolihv peale terasest 20X3 tooriku treimist

Joon. 77. Metalli pinnakihi mikrolihv peale terasest 45 tooriku treimist



Joon. 78. Jääkpingete jagunemise tüüpiline skeem treimisel: *a* — esimene tsoon — kiht, kus on ülekaalus plastselt deformeeritud terad; *b* — teine tsoon — kiht, kus on ülekaalus elastselt deformeeritud terad; *c* — kolmas tsoon — elastselt deformeeritud terade kiht

tuurielementide segipaisatus ja mikrokõvaduse järsk suurenemine;

b) deformatsioonitsoon, mida iseloomustavad väljavenitatud terad, terade kuhjumine üksteisele ja tunduvalt väiksem mikrokõvadus võrreldes ülemise kihiga;

c) üleminekutsoon, mis kujutab endast deformatsiooni mõjult põhimaterjali normaalsele struktuurile järkjärgulise ülemineku tsooni.

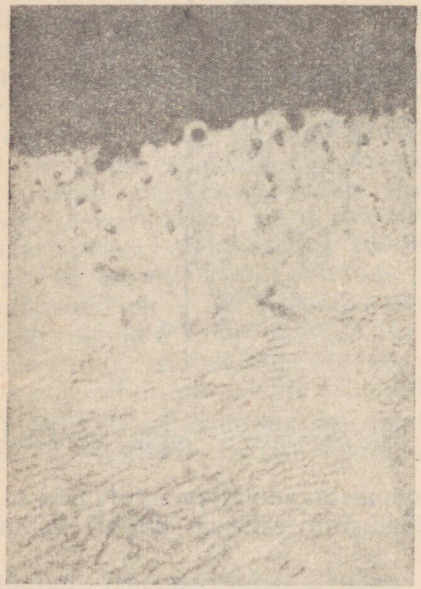
Hallmalmist toorikute töötlemisel ilmneb mõnikord nõrgalt väljendunud deformatsioon sügavusega alla 15 μm.

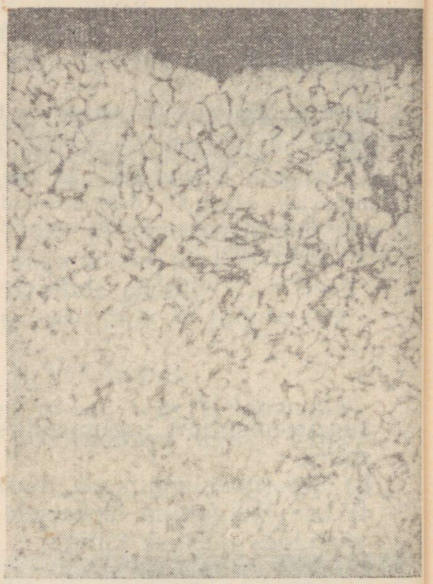
Terase puhas- ja eeltöötlemisel levivad deformatsioonid 50 kuni 100 ... 300 μm sügavusele, aga koorimisel 500 ... 1000 μm. Joonistel 76 ja 77 on toodud terasdetailide pinnakihi mikrolihvid.

Jääkpinged pinnakihis sõltuvad paljudest teguritest. Joonisel 78 on toodud jääkpingete jagunemise tüüpiline skeem.

Lihvimisel määravad pinnakihi seisundi suurel määral soojuslikud nähtused, aga samuti jõudude toime. Pinnakihis toimuvad struktuurilised muutused ja terade pinnale ilmuvad karbiidid, moodustuvad karastuse ja noolutuse tsoonid ja tekivad positiivsed või negatiivsed jääkpinged. Nende tase võib ulatuda või isegi ületada tooriku materjali voolavuspiiri. Teravalt väljendunud muutustega pinnakihi paksus moodustab eellihvimisel 10 ... 30 μm ja puhasning peenlihvimisel kuni 5 μm. Jääkpinged levivad sügavusele 50 ... 150 μm.

Sepiste pinnakiht koosneb dekarbonisatsioonitsoonist ja üleminekutsoonist, kus täheldatakse osalist dekarbonisatsiooni. Kuumstantsitud toorikute dekarboniseerunud kihi paksus on sõltuvalt sepise kaalust piirides 150 ... 300 μm; vabasepistamisel võib tekkida, samuti sõltuvalt sepise kaalust, paksem dekarboniseerunud





Joon. 79. Väljasulatatava mudeliga saadud terasvalandi pinnakihi mikrolihv

Joon. 80. Kuumstantsitud terastooriku pinnakihi mikrolihv

kiht — umbes 500 . . . 1500 μm. Valtsmaterjali pinnakiht on dekarboniseerunud kuni 150 μm ulatuses, kalibreeritud valtsmaterjalil aga on see alla 50 μm.

Hallmalmist valanditel on tavaliselt perliitne pinnakiht, paksusega 300 μm (perliitne tsoon) ja selle järel suure ferriidisisaldusega tsoon, mis läheb järk-järgult üle põhistruktuuriks (üleminekutsoon).

Terasvalandite pinnakihis on tavaliselt dekarboniseerunud tsoon paksusega kuni 200 μm ja edasi osaliselt dekarboniseerunud üleminekutsoon.

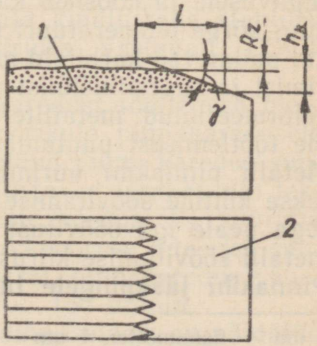
Joonisel 79 on esitatud väljasulatatava mudeliga saadud terasvalandi pinnakihi mikrolihv. Pinnakiht paksusega 150 μm on dekarboniseerunud peaaegu kuni puhta ferriidini. Samal lihvil on näha pinna mikrokonarused kõrgusega umbes 20 . . . 25 μm. Joonisel 80 on esitatud kuumstantsitud terastooriku pinnakihi mikrolihv; sellel on üsna selgelt näha dekarboniseerunud kiht paksusega kuni 200 μm ja pinnakonarused kõrgusega kuni 80 μm.

Pinnakihtide uurimise meetodid. Töötlemata toorikute ja jämeda mehaanilise töötlemise menetluste korral kasutatakse pinnakihi paksuse ja üldise iseloomustuse määramiseks tavalist mikrolihvide uurimise meetodit. Pinnakihtide mikrokõvadust uuritakse teemantpüramiidi sissesurumise meetodil (aparaat ПМТ-3). Koormus püramiidil on 0,5 ... 1,0 N (50 ... 100 g). Kõige mugavam on uurida pinnakihi paksust ja selle mikrokõvaduse muutumist pinnast eemaldumisel, mikrolihvi abil, mis on valmistatud «kaldlõike» kujul nurga γ all (joon. 81). Kalestunud kihi paksus

$$h_k = l \operatorname{tg} \gamma.$$

Mikrolihvi valmistamisel on tarvis kindlustada tingimused, mis väldivad uute muutuste tekkimise võimaluse pinnakihis. Proovitükilt eemaldatavat osa ei või maha lihvida, kuna lihvimisel tekkiv kõrge temperatuur muudab metalli omadusi. «Kaldlõige» saadakse plankimisega ГОИ pasta abil; algul kasutatakse jämedat, seejärel aga keskmist ning peent pastat järjestikku kolme plaadiga: malm- ja kahe klaasplaadiga. Plangitakse erirakises, mis kindlustab lõike etteantud nurga all. Valmistatud mikrolihv paigaldatakse aparaati ПМТ-3 rakises, nii et uuritav pind asetuks horisontaalselt. Siis tehakse teemantpüramiidiga jäljed, mõõdetakse nende diagonaalid ja määratakse tabeli abil kõvadusarvud. Kalestunud kiht lõpeb seal, kus naaberjälgede mikrokõvaduse arvud osutuvad ühesugusteks.

Teades esimese jälje kaugust pinnast ja järgnevate jälgede vahelisi kaugusi, määratakse kihi paksus mikromeetrites ja koostatakse kõver, mis iseloomustab mikrokõvaduse muutumist sõltuvalt sügavusest. «Kaldlõiget» võib kasutada ka kareduse kõrguse, selle kuju ja asetuse tundmaõppimiseks metallimikroskoobi abil; selle



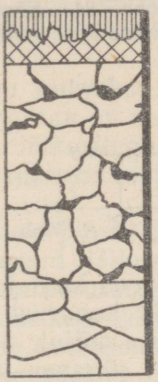
Joon. 81. Kaldlõige: *1* — kalestunud kihi piir; *2* — mikrolihvi tasapind; $\gamma = 0°30' \ldots 2°$

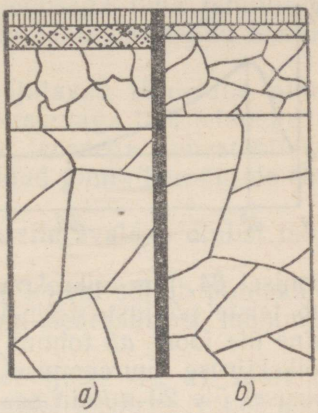
juures tuleb arvestada, et kareduse mõõdetud kõrguse suurenduse mastaap on

$$M = \frac{1}{\operatorname{tg}\gamma}.$$

Pinnakihi uurimiseks kasutatakse ka struktuuri röntgenanalüüsi. Jääkpingete määramiseks metalli pinnakihis söövitatakse proovitüki pinnalt kiht paksusega 10 ... 15 μm ja peale iga söövitust võetakse röntgenogramm.
See on aeganõudev ja töömahukas meetod; ühe röntgenogrammi saamiseks ja töötlemiseks kulub umbes 10 tundi.
Muudatused metallikihtides paksusega alla 3 ... 10 μm ei ole röntgenanalüüsil tabatavad. Neil juhtudel võib pinnakihti uurida struktuuri elektronograafia meetodil, mis põhineb elektronide difraktsioonil ja võimaldab uurida mitmesuguste materjalide kõige õhema pinnakihi ehitust.
Joonistel 82 ja 83 on esitatud struktuuri elektronograafia meetodil peale peenlihvimist, plankimist ja superfiništöötlemist uuritud terasest proovitüki pinnakihid. Nagu näitas uurimine, koosnevad pinnakihid kolmest tsoonist.
Esimene tsoon paksusega 0,2 ... 0,3 nm[1] koosneb adsorbeeritud kondenseerunud gaasikihist, mida saab eemaldada ainult pinna kuumutamisega vaakuumis. Õhus tekib see kiht viivitamatult uuesti.
Teine tsoon on mitmesugune sõltuvalt töötlemise meetodist. Peale peenlihvimist ulatub see 8 nm ja koosneb omavahel suhteliselt nõrgalt seotud hapendite, nitriidide ja lihvimisel tekkiva kõrge temperatuuri toimel dekarboniseerunud metalli osakestest. Peale plankimist ulatub teine tsoon ligikaudu 3 nm ja koosneb abrasiivi, hapendite ja tolmu osakestest ning peale superfinišimist — 1,5 nm-ni ja koosneb hapendite ning tolmu osakestest.
Kolmas tsoon on peale peenlihvimist levinud ligikaudu 5000 nm sügavusele ja koosneb käia survel deformeerunud metalliteradest ning kõrge temperatuuri toimel tekkinud karbiididest. Terade pinnal paiknevad karbiidid muudavad selle kihi rabedaks. Peale plankimist ja superfinišimist ulatub kolmas tsoon 1500 nm ja koosneb deformeerunud metalliteradest. Kolmas tsoon läheb järk-järgult üle töötlemisest puutumatuks kristalliliseks struktuuriks.
Metalli pinnakihi uurimisel laboratoorsetes tingimustes kasutatakse kihtide söövitamise meetodit koos mikrokõvaduse määramisega peale iga söövitust ja kalestunud kihi määramise meetodit metalli söövitumise kiiruse järgi.
Pinnakihi jääkpingete tundmaõppimine kujutab endast keerukat

[1] nm — nanomeeter, 1 nm = 10^{-10} m





Joon. 82. Terasest proovitüki pinnakihtide struktuur pärast peenlihvimist

Joon. 83. Terasest proovitüki pinnakihtide struktuur pärast: *a* — plankimist; *b* — superfiništöötlemist

füüsikalist uurimistööd. Davidenkovi või Zaksi meetodi kasutamisel määratakse need pinged arvutusega proovitüki deformatsiooni suuruse põhjal peale pingestatud kihi mahavõtmist keemilisel või elektromehaanilisel moodusel. Õhukeste kihtide jaoks on kasutatav ka röntgenoloogiline meetod, mis põhineb aatomivaheliste kauguste mõõtmisel pingestatud ja pingestamata metallis.

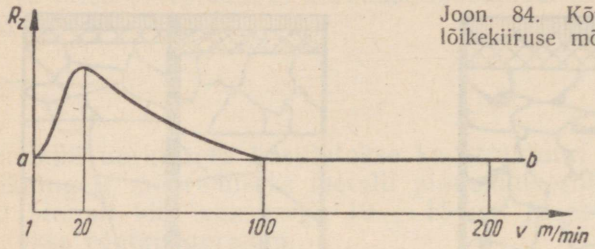
Kõik pinnakihi uurimiseks kasutatavad meetodid nõuavad hoolikalt valmistatud proovitükke ja hoolikat laboratoorset teostamist. Detailidel on võimalik ainult pinna mikrokõvaduse mõõtmine.

Pindade etteantud kvaliteedi saamine tootmises. Tootmisel mõjutavad pinna kvaliteeti töötlemistingimused.

Töötlemistingimuste mõju pinnakaredusele. Tehnoloogilise protsessi kavandamisel on vaja kindlustada stabiilse kareduse saamine etteantud klassi piirides vastavalt ГОСТ 2789-59.

Antud materjali puhul mõjutavad pinnakaredust töötlemise meetod ja režiim. Lõikerežiimi mõju terastoorikute pinnakaredusele iseloomustavad järgmised andmed. Töödeldud pinna karedus suureneb, kui kasutada lõikekiirusi, mis põhjustavad terakasvaja tekkimise. Seejuures saavutab mikrokonaruste kõrgus R_z suurima väärtuse lõikekiirusel 15 ... 20 m/min. Lõikekiiruse edasisel suurendamisel, muude jäävate tingimuste korral, pinnakaredus väheneb ja stabiliseerub lõikekiirusel üle 100 ... 150 m/min.

Pinnakareduse lõikekiirusest sõltuvuse üldine iseloom on näidatud



Joon. 84. Kõver, mis iseloomustab lõikekiiruse mõju pinnakaredusele

joonisel 84, kus mikrokonaruste kõrgus kuni jooneni *ab* moodustub teiste põhjuste toimel, aga mikrokonaruste kõrguse suurenemine üle joone *ab* toimub terakasvaja mõjul.

Lõikekiiruse suurenemisel kalestuse sügavus kasvab, kuid lõikekiirusel üle 20 m/min see väheneb.

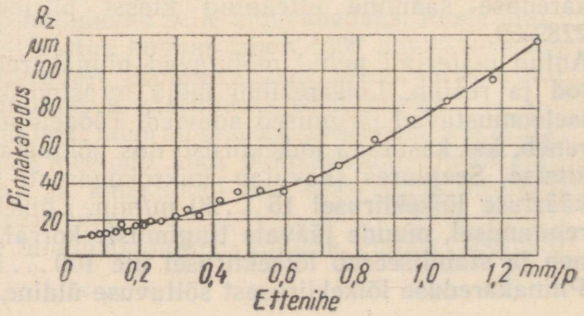
Pinnakaredus tuleb suurem: puurimisel lõikekiirusega 15...25 m/min; avardamisel lõikekiirusega 20...30 m/min; suurem pinnasileduse klass saadakse hõõritsemisel lõikekiirusega 4...8 m/min.

Joonisel 85 on toodud katseline pikiettenihke mõju kõver pinnakaredusele terasest 45 tooriku treimisel teraga, mille peanurk plaanis on 45° ja tipu ümardusraadius 2,5 mm; lõikekiirus $v = 40$ m/min ja lõikesügavus $t = 0{,}5$ mm. Ettenihke suurendamisel suureneb ka kalestuse sügavus. Laia lõikeservaga teradega treimisel ei mõjuta pikiettenihe pinnakaredust.

Katseandmete alusel võib lugeda, et lõikesügavus ei mõjuta pinnakaredust. Samuti ei muutu peaaegu kalestuse aste ja sügavus lõikesügavuse muutumisel.

Kuid lõikesügavus võib mõjutada pinnakaredust plastsetest metallidest toorikute töötlemisel eelneval operatsioonil tekkinud kalestuse tsoonis. Sel juhul on pinnakaredus väiksem, võrreldes kihtide lõikamisega, mis ei ole eelneval töötlemisel kalestunud.

Jahutusvedeliku sobiva valikuga võib parandada pinnasiledust ühe klassi piires ja suurendada tööriista püsivusaega. Nii väheneb



Joon. 85. Pikiettenihke mõju pinnakaredusele terasest 45 toorikute treimisel

väävlistatud mineraalõlide ja taimeõlide kasutamisel mikrokonaruste kõrgus 25...40%, võrreldes töötlemisega ilma jahutuseta. Lihvimisel võib pinna sileduskласsi tõsta jahutusvedeliku hoolika filtrimisega.

Tööriista lõikeserva mikrokonarused mõjutavad töödeldud pinna karedust; eriti märgatav on see laia lõikeservaga tööriistadega — hõõritsatega, kammlõikuritega ja laiade teradega puhastöötlemisel. Lõikeriista nürinemine mõjub töödeldud pinna karedusele ebasoodsalt.

Töötlemisel saadavale pinnasileduse klassile avaldab olulist mõju tehnoloogilise süsteemi jäikus.

Tööpingi ja tööriista muutumatu jäikuse korral sõltub pinnakaredus töödeldavate toorikute konstruktsiooni iseärasustest, mõõtmete suhtest ja ka nende kinnituse jäikusest.

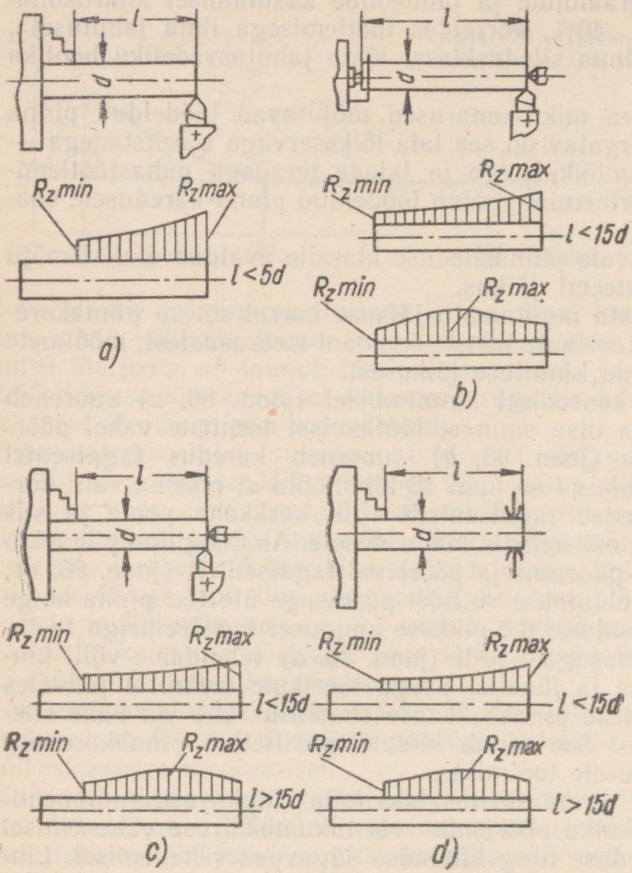
Töödeldava võlli konsoolsel kinnitamisel (joon. 86, *a*) suureneb karedus võlli vaba otsa suunas; töötlemisel tsentrite vahel pöörleva tagatsentriga (joon. 86, *b*) suureneb karedus tagatsentri poole, kui võlli pikkus *l* on kuni 15 läbimõõtu *d*; pikema võlli korral karedus suureneb tagatsentrilt võlli keskkoha poole ja siis väheneb vastavalt esitsentrile lähenemisele. Analoogiline pilt tekib võlli kinnitamisel padrunis ja pöörleval tagatsentril (joon. 86, *c*); kuid sel juhul täheldatakse võllidel pikkusega üle 15*d* pinna kõige madalamat sileduskласsi 0,4 pikkuse kaugusel tagatsentriga toetatavast otsast. Samasugust pilti (joon. 86, *d*) täheldame võlli kinnitamisel padrunis ja lünetis. Seega toorikute treimisel jäävates tingimustes saadakse pinnakareduse ebaühilus ühe või kahe sileduskласsi ulatuses. See viitab kitsalt piiritletud pinnakareduse saavutamise raskusele tootmises.

Lihvimisel tõuseb pinna sileduskласs käia ringkiiruse suurenemisel, töödeldava tooriku pöörlemis- või liikumiskiiruse vähenemisel ja käia tera jämeduse ning lihvimise sügavuse vähenemisel. Lihvimine, mille lõpul radiaalettenihet ei anta, suurendab pinna sileduskласsi.

Kui on teada tehnoloogiliste tegurite mõju pinna kvaliteedile, võib luua töötlemistingimused, mis kindlustavad pinna etteantud sileduskласsi saavutamise.

Praktilises töös kasutavad tehnoloogid katseandmete alusel koostatud abimaterjale, et leida etteantud sileduskласsi saavutamiseks kõige õigemat töötlemistingimuste kombinatsiooni.

Sileduskласside määramine detaili joonisel. Pinna sileduskласsi määramine on konstruktori vastutusrikkaks ülesandeks. Kuid pinnakareduse mõju detailide ekspluatatsioonilistele karakteristikutele on uuritud selleks veel ebapiisavalt, et konstruktor, kui ta tunneb detailide töötingimusi, võiks alati vastu võtta õige otsuse. Mõnede konstruktorite püüe määrata liiga kõrgeid



Joon. 86. Võllide kinnitamise skeemid ja R_z väärtuste epüürid piki võlli

klasse tuleb lugeda lubamatuks, kuna see viib töötlemise tüsistumisele ja kallinemisele. Sageli on see detailide ekspluatatsiooniliste omaduste parendamise seisukohalt kasutu. Katsed kolvirõngaste kulumise kohta mootoris on näidanud, et liugepindade optimaalne siledus vastab 7-ndale klassile. Suurema sileduse (10. ... 11. klass) korral väheneb see peale mootori lühikest tööperioodi tunduvalt. Mitmesugustes masinaehituse harudes kasutavad konstruktorid normatiive, mis on saadud ühtede või teiste masinate tootmise ja ekspluateerimise uurimise alusel.
Paralleeli tõmbamisel täpsuse ja kareduse vahel võib märgata,

et suurele täpsusele vastab alati väike pinnakaredus. Näiteks pretsiisse plunžerpaari töötlemisel 1. täpsusklassi järgi kindlustatakse liugepindade karedus vähemalt 11. ... 12. sileduskiassile vastavana. Niisugune vastavus ei ole tingitud mitte ainult toote töötamise tingimustest, vaid ka vajadusest saada detaili mõõtmete määramisel stabiilseid ja usaldatavaid tulemusi.

Üldise kasutusalaga detailide pinnakareduse ja valmistustäpsuse uurimine on näidanud, et mikrokonaruste kõrgus on vahemikus 0,05...0,2 mõõtme tolerantsi. 5. ...12. sileduskiassiga pindade puhul on see suhe press-istude korral 0,10...0,12, üleminekuistude korral 0,08...0,1 ja liikuvate istude korral 0,05...0,07. Vastutusrikkamate liidete puhul see suhe väheneb kuni 0,02-ni.

Tabelis 9 on toodud praktilised andmed, mis näitavad täpsusklasside ja sileduskiasside vastastikust seost konstruktsiooniterasest ja hallmalmist toorikute mitmesugustel meetoditel töötlemisel. Värvilistest metallidest ja sulamitest detailide töötlemisel võib saada mõnevõrra kõrgema pinnasileduse klassi.

Mõnikord nõutakse käsirataste, käepidemete ja teiste analoogiliste detailide mõõtmete suurte tolerantside juures kõrget pinnasileduse klassi. Neil juhtudel nähakse tehnoloogilise protsessi kavandamisel ette poleerimise või teiste viimistlusmeetodite kasutamine, mis ei suurenda eeltöötlemise täpsust.

P i n n a k i h i k u j u n d a m i n e t e h n o l o o g i l i s e m õ j u t a m i s e m e e t o d i t e g a. Detailide pinna kvaliteet sõltub põhiliselt viimistlustöötlemise meetodist ja režiimist: teatavate tingi-

Tabel 9

Täpsus- ja sileduskiasside vastastikune seos terasest ja hallmalmist toorikute töötlemisel

Töötlemismeetod	Täpsusklass	Sileduskiass	Töötlemismeetod	Täpsusklass	Sileduskiass
Treimine:			Hööritsemine:		
eel-	5	4	eel-	3	6
puhas-	3	6...7	lõpp-	2	7...8
peen-	2...1	9	peen-	2...1	9
Freesimine:			Avade kammlõikamine	3...2	7...8
eel-	5	4	Lihvimine:		
puhas-	3	6...7	puhas-	3...2	8...9
peen-	2	8...9	peen-	2	9...11
Puurimine	4...5	3...5	Soveldamine	1	10...12
Puhasvardamine	4	5...6			

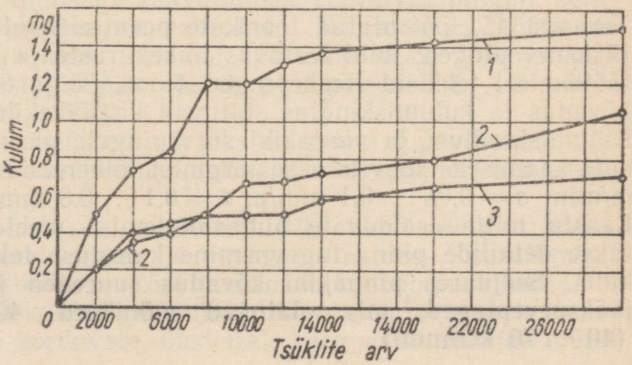
muste juures võib pinnakiht olla tugevnenud, võrreldes põhimetalliga, aga mõnikord on see nõrgenenud.
Sellega seoses tekib vajadus välja selgitada töötlemise tehnoloogia ja pinna ekspluatatsiooniliste omaduste vaheline seos, et tehnoloogilise mõjutamise teel kujundada pinnale niisugused füüsikalised ja mehaanikalised omadused ning selline jääkpingete epüür, mis kõige suuremal määral vastaks kestva ja töökindla ekspluateerimise tingimustele.
Mehaanilise töötlemise protsessis etteantud omadustega pinnakihi sihipärane kujundamine on üks tähtsamaid ja aktuaalsemaid teaduslikke probleeme masinaehituse tehnoloogias.
Detailide tugevuse ja kulumiskindluse suurendamiseks kasutatakse masinaehituses laialdaselt pinna termilise ja termokeemilise töötlemise meetodeid ning mitmesuguseid pinnakatteid.
Pinnakihi kvaliteedi paranemise võib saavutada nii tavaliste meetodite kasutamise tulemusena teataval režiimil kui ka töötlemise spetsiaalsete meetoditega.
Kõige kahjulikumalt mõjub pinnakihi kvaliteedile tema struktuuri ebaühtlus ja tõmbepingete olemasolu; survepinged tõstavad reaal juhtudel tunduvalt metalli väsimuspiiri.
Materjali jääkpingete relaksatsioon ekspluatatsiooniprotsessis võib põhjustada, eriti õhukeseseinalistel detailidel, kuju ja mõõtmete muutumist. See nähtus võib esineda näiteks reaktiivmootorite detailide soojuslikul mõjutamisel. Suurenenud mikrokõvadus parandab pinnakihi kulumiskindlust. Detailide pinnakihi kujundamine toimub põhiliselt mehaanilise töötlemise lõppoperatsioonidel lõikamise soojuslike ja jõududest tingitud nähtuste mõjul. Teatavat mõju avaldavad nende kihtide kujunemisele eelneva töötlemise operatsioonid ja ka ettevalmistavad protsessid. Selle mõju positiivse iseloomu korral määratakse töötlemisvarud puhas- ja viimistlustöötlemisel nii, et säilitada detailil tehnoloogilise «pärandusena» saadud positiivsed omadused (pinnakihi kalestus, suur pinnakõvadus, valgenenud pinnakiht valandil jt.).
Kõige tähtsam on saada kõrge pinnakihi kvaliteet peale lihvimist ja peentreimist, s. o. 2. ... 3. täpsusklassi ja 6. ... 9. silediusklassi saamiseks laialt kasutatavate viimistlusmeetodite puhul.
Lihvimisprotsessile on iseloomulik õhukeses pinnakihis tekkiv kõrge temperatuur ja soojuse levimine mittestatsionaarse temperatuurivälja tingimustes. Seejuures on võimalik struktuuri ebaühtluse suurenemine ja selle tagajärjel peente pragude tekkimine. Karastatud detailidel on võimalik kõige pealmises kihis sekundaarse karastuse tsooni ja selle all suhteliselt väikese kõvadusega sekundaarse noolutuse tsooni moodustumine.
Pinnakihis tekivad lihvimisel jääktõmbepinged; sageli nende suurus saavutab ja isegi ületab töödeldava detaili materjali voola-

vuspiiri. Nende pingete tekkimisel mängivad peamist osa soojuslikud protsessid. Pingete moodustumise mehhanism seisneb järgnevas. Käia kokkupuutumise momendil detaili antud punktiga kuumeneb pinnakiht tugevasti ja püüab paisuda. Paisumist takistavad allpoolasetsevad külmemad materjalikihid. Selle tagajärjel osutub pinnakiht plastselt surutuks. Peale detaili jahtumist tekivad pinnakihis selle püüdest kahaneda tõmbepinged. Põhiline tegur, mis mõjutab nende pingete suurust, on lihvimise sügavus. Jääkpingete suuruse vähenemine saavutatakse soojuse tekkimise intensiivsuse alandamisega, s. t. detaili kiiruse suurendamise, lõikesügavuse vähendamise, pehmema käia kasutamise ja rikkaliku jahutamisega.

Jääktõmbepingeid võib karastatud ja lihvitud detaili pinnakihis vähendada 2...3 korda detaili hoidmisega 90 sekundi vältel soolalahuses, mille temperatuur on 260...315° C, ja järgneva jahutamisega vees või õlis. Kuumutustemperatuuri tõstmisel kuni 340° C, mis põhjustab terase kõvaduse langemise 2...3 HRC ühiku võrra (esialgsest kõvadusest 60 HRC), vähenevad jääkpinged 5 korda.

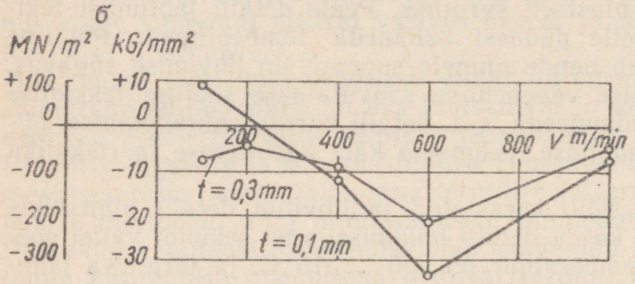
Peale eellihvimist võib jääkpinged kõrvaldada detaili lõõmutamisega, aga peale lõpptöötlemist — vibrokontaktpoleerimisega. Viimasele meetodile on iseloomulik survepingete tekitamine pinnakihis. Jääkpingete suurust võib vähendada ka detaili rakises kinnitamise ratsionaalse skeemi kasutamisega, mille juures on võimalik detaili deformatsioon peasuundades. Pinnakihi jääkpingete reguleerimine kujutab endast suurt detailide ekspluatatsiooniomaduste tõstmise reservi.

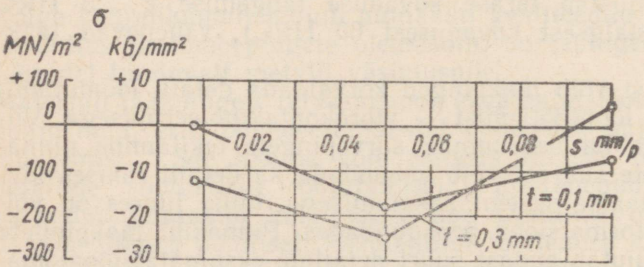
Lihvitud pindade kulumiskindlus sõltub lihvimise režiimist (joon. 87). Lihvimise režiimi muutmisega suurendati normaliseeritud terasest 40 detaili pindade mikrokõvadust 15...45%, mis põhjustas kulumiskindluse suurenemist 25...80%. Üldjuhul mõjub



Joon. 87. Lihvitud pinna kulumi sõltuvus kulumise kestusest (materjal — lõõmutatud teras У8): *1* — tavaline lihvimine; 2 — peenlihvimine; *3* — lihvimine tugevdava režiimiga

plastsest materjalist (teras 45 lõõmutatult) toorikute lihvitud pindade kulumiskindluse tõusule tugevasti mikrokõvaduse suurendamine ja vähemal määral kareduse kõrguse vähendamine; kõvadest materjalidest (karastatud teras У8) toorikute kulumiskindluse tõusule mõjub põhiliselt kareduse kõrguse vähendamine.



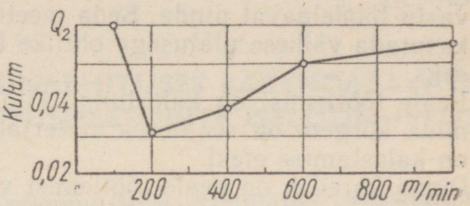


Joon. 88. Jääkpingete suurus pinnakihis sõltuvalt lõikekiirusest, millega pinda töödeldi

Joon. 89. Jääkpingete suurus pinnakihis sõltuvalt ettenihkest, millega pinda töödeldi

Terasest 45, lõõmutatud toorikute peentreimisel saadi pinnakihis jääksurvepinged; kuid teatavas lõikekiiruste ja ettenihete tsoonis töötlemisel tekkisid tõmbepinged (joon. 88 ja 89). Pinna mikrokõvadus ja kulumiskindlus sõltuvad ka lõikekiirusest (joon. 90). Kulumiskindluse ja pinnakihi survepingete parimate karakteristikute saamiseks soovitatakse järgmist lõikerežiimi: $v = 150 \ldots 400$ m/min; $s = 0{,}05 \ldots 0{,}1$ mm/p; $t = 0{,}1 \ldots 0{,}3$ mm.

Laastu mitte eraldavate puhastöötlemise meetoditega saavutatakse detailide pinna tugevnemine kalestuse tekitamisega pinnakihis. Seejuures pinnakihi kõvadus suureneb ja temas tekivad jääksurvepinged, mis ulatuvad mõnikord 400 ... 700 MN/m² (40 ... 70 kG/mm²).



Joon. 90. Pinnakihi kulumi sõltuvus sissetöötamisel pinna töötlemisel kasutatud lõikekiirusest

Pinge kontsentratsioonikohtade (uurded, sooned jt.) tugevdaval töötlemisel väheneb nende kahjulik mõju detaili tugevusele. Kõige soodsam on kalestuse mõju väsimustugevuse tõusule. Tugevnemise efekt saavutatakse töödeldava pinna mõjutamisel surve või löökidega.

Haavlitega kalestamist kasutatakse terasdetailide ja värvilistest sulamitest detailide väsimustugevuse suurendamiseks ja ka keevisõmbluste tugevdamiseks.

Niisuguseid detaile nagu vedrud, vedrulehed, hammasrattad, teljed ja teised töödeldakse peale nende lõpptöötlemist. Pinna kvaliteet sõltub haavlite jämedusest, kiirusest ja nurgast, mille juures haavlid kohtavad töödeldavat pinda, väljalennukoha kaugusest, haavlite kulust sekundis ja töötlemise kestusest. Kalestumise sügavus ulatub 0,5 ... 1,0 mm, kõvadus suureneb 20 ... 40% ja pinnakihis tekivad survepinged ning nende all tõmbepinged. Tööiga suureneb vedrudel 1,5 ... 2 korda, hammasratastel 2,5 korda ja lehtvedrudel 10 ... 12 korda. Haavlitega töötlemine vähendab mõnevõrra detailide pinna siledusklassi.

Löökrauaga kalestamist teostatakse suruõhuvasaraga. Tööriistaks kasutatakse sfäärilist otsikut. Selle tegevusest jäävad märgatavad muljutised. See meetod on kõige kasutatavam pinge kontsentratsioonikohtade (sooned, uurded, keevisõmblused) töötlemisel.

Rullide ja kuulidega rullimist kasutatakse pindade viimistlemismeetodina; sellel on ka tugevdav toime. Silindriliste pindade, uurete ja soonte rullimisega saavutatakse efektiivne pingete kontsentratsiooni vähenemine ja vahelduva koormusega töötavate detailide ea suurenemine. Pindade rullimine peale lõikeservaga tööriistadega puhastöötlemist tõstab pinnasiledust 1 ... 2 klassi võrra ja täpsust 10 ... 15%.

Kui töötlemise peamiseks eesmärgiks on pinna tugevdamine, siis suurendatakse rullimise jõudu, kuid sel juhul väheneb töötlemise täpsus.

Sisepöördpindu rullitakse mitmerulliliste tööriistadega puur-, karussell-, horisontaalsisetrei- ja agregaatpinkides. Siserullimisel tõuseb pinna kõvadus 15 ... 25%; suureneb ka kulumiskindlus.

Pinna kalestamine kuulidega toimub kiireltpöörlevasse kettasse paigutatud kuulide korduvate, üksteisele järgnevate löökide mõjul

vastu töödeldavat pinda. Seda meetodit on kõige otstarbekohasem kasutada väikese ulatusega ohtlike tsoonide kohalikuks kalestamiseks.

Peale töötlemist on kalestunud kihi kõvadus 20...60% tõusnud; mida kõrgem on seejuures materjali lähtekõvadus, seda väiksem on kalestamise efekt.

Pinna karedus on peale töötlemist väiksem.

Treitud või lihvitud toorikud, siledusega 6. ... 8. klass, saavad peale kuulidega kalestamist 8. ... 10. klassi pinnasileduse. Väga suur tähtsus on töötlemisrežiimi valikul; valesti valitud režiimi korral võivad õhukeses pinnakihis tekkida detaili tugevusele kahjulikud tõmbepinged. Malmi ülekalestamisel võib pinnakiht puruneda.

MASINAEHITUSES RAKENDATAVATE TEHNOLOOGILISTE TOOTMISMEETODITE ISELOOMUSTUS

Tehnoloogiliste meetodite iseloomustuse tundmine võimaldab nende otstarbekat valikut tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel. Käesolevas peatükis antakse nendest meetoditest ülevaade täpsuse, töödeldud pinna kareduse ja mõõtmete diapasooni järgi, kusjuures näidatakse ära vastav kasutusala ja automatiseerimisvõimalused.

Meetodite tootlikkust ja rentaablust saab iseloomustada vaid orienteerivalt, kuna ühe ja sellesama meetodi näitajad muutuvad laiades piirides olenevalt detaili konfiguratsioonist, mõõtmetest ja kaalust, materjalist ja muudest teguritest.

1. TOORIKUTE TOOTMISE MEETODID

Toorikute valmistusprotsessid on tihedalt seotud järgneva mehaanilise töötlemisega. Viimase töömahukus oleneb suurel määral toorikute valmistamise täpsusest ja nende konfiguratsiooni lähenemisest valmisdetailide konfiguratsioonile. Sellepärast areneb masinaehituse tehnoloogia detailide komplekssete valmistusprotsesside väljatöötamise suunas, mis haaravad nii toorikute valmistamise kui ka mehaanilise töötlemise. See suund on eriti tähtis vooltootmises ja automatiseeritud tootmises.

Masinate detailide toorikud valmistatakse kas valamisega, survetöötlemisega, valtsmaterjali tükeldamisega või kombineeritud meetodil.

Toorikute valmistamine valamisega. Valandid saadakse ühekordselt kasutatavates, poolalalistes või alalistes vormides.

Valu ühekordselt kasutatavatesse vormidesse. Muldvorme kasutatakse mitmesugusest materjalist ja laia mõõtmete ning massi diapasooniga valandite saamiseks.

Muldvormid valmistatakse alalistes valukastides (kahes, kolmes ja enamas kastis) või kastideta (põrandasse vormimine), rakendades käsitsi- või masinvormimist. Masinvormimisel saavutatakse kõrgem tööviljakus. Nii vajab 1 m^3 vormisegu käsitsi tihendamine 1,5...2 tundi aega. Pneumaatiliste tihendamisseadmete rakendamine vähendab seda aega ühe tunnini, liivapilduja rakendamine — 6 minutini. Raputusmasinad kiirendavad tihendamist 15 korda, pressimismasinad — 20 korda.

Valandite valmistamine muldvormides on küll mehhaniseeritud, kuid sealjuures tunduvalt vähem automatiseeritud kui töö mehaanikatsehhides. Vagranka täitmise, vormimise, valamise, valu väljalöömise ja valupuhastuse automatiseerimine mitte üksnes ei suurenda tööviljakust 2...3 korda, vaid tagab ka valu stabiilse kvaliteedi, mis omab väga suurt tähtsust tootmise automatiseerimisel mehaanikatsehhides. Valandite täpsust reglementeerivad ГОСТ 1855-55 ja 2009-55.

Valandite III täpsusklass on nende ГОСТ-ide järgi valandite mõõtmete juures kuni 500 mm vähem täpne kui 9. klass ОСТ-süsteemis ja mõõtmete juures üle 500 mm vastab 10. ... 11. täpsusklassile ГОСТ 2689-54 järgi. II klass vastab valandite mõõtmete juures kuni 500 mm ligikaudu 9. täpsusklassile ОСТ-i järgi ja mõõtmete juures üle 500 mm — 9. ... 10. täpsusklassile ГОСТ 2689-54 järgi. I täpsusklass vastab 7. ... 9. täpsusklassile nii ОСТ-süsteemis kui ka ГОСТ 2689-54 järgi. III täpsusklassi valandeid on võimalik saada puust mudelite ja kärnikastide kasutamisel ja kärnide ning vormide käsitsi valmistamisel. II täpsusklassi valandite saamiseks on vajalikud metallmudelid ja -kärnikastid, kärnide ja vormide valmistamine vastavatel masinatel. Valandite saamiseks I täpsusklassis on vaja peale metallmudelite ja -kärnikastide kasutamise veel kärnid koostada konduktoritega.

Valandite pinnakaredus oleneb vormimaterjalist, vormi pinna katmisest ja valandi puhastamise viisist ning on tavaliselt suurem kui 1. pinnasilediusklassile vastaval pinnal ГОСТ 2789-59 järgi. Valandite minimaalne seinapaksus oleneb materjalist ja gabariitmõõtmetest. Nii näiteks malmist valandeile, mille gabariitmõõtmed ei ületa 250 mm, on see 3...5 mm ja terasest valandeile 5...8 mm.

Valanditesse ei moodustata avasid, kui nende läbimõõt masstootmisel ei ületa 20 mm, seeriatootmisel 30 mm ja individuaaltootmisel 50 mm.

Kärnidest koostatud vorme kasutatakse keeruka kujuga vastutusrikaste valandite saamisel (mootorisilindrid, hüdroturbiinide töörattad jms.). Vorm koostatakse kärnidest šabloonide ja konduktorite järgi ja see kindlustab valandite suure täpsuse (I ja II täpsusklassi ГОСТ 1855-55 või 2009-55 järgi) ja 1. ... 2. klassi pinnakareduse ГОСТ 2789-59 järgi.

Kui valada malmi, terast või värvilisi sulameid liiva ja vaikude segudest valmistatud koorikvormidesse, saadakse kõrgendatud täpsusega mõõtmetega ja väiksema pinnakaredusega valandid. Seda meetodit kasutatakse peamiselt keerukate ja vastutusrikaste väikeste ja keskmiste valandite valmistamiseks massiga kuni 25...

30 kg, mõnikord aga ka suuremate valandite puhul massiga kuni 100 kg. See moodus võimaldab saada terasvalandeid seinapaksusega 3 ... 5 mm, alumiiniumisulameist valandeid aga seinapaksusega 1 ... 1,5 mm ja valatud avadega läbimõõduga üle 8 mm ning sügavusega kuni 20 mm. Valandite mõõtmete lubatud kõrvalekalded vastavad 4. ... 7. klassi täpsusele, pinnakaredus — 3. ... 4. klassile.

Koorik-poolvormide valmistamiseks kasutatakse käsi-, poolautomaat- ja automaatseadmeid. Suurseeriatootmisel rakendatakse karussellitüüpi seadmeid, masstootmisel — automatiseeritud üheja mitmepositsioonilisi masinaid. Poolautomaat- ja automaatmasinad võimaldavad valmistada kuni 480 poolvormi tunnis.

Koorikvormidega saadavate valandite mehaanilise töötlemise osatähtsus võib väheneda 30 ... 50%, kusjuures mass väheneb 10 ... 50%. See meetod on ökonoomne mitte üksnes masstootmisel, vaid ka vastutusrikaste valandite väikeseeriatootmisel (seerialisuse juures 500 kuni 5000 valandit aastas).

Suhteliselt väikese massiga (60 ... 200 kg), kuid suurte gabariitmõõtmetega (kuni 3000 × 1000 mm ja rohkem) raami- ja plaaditüüpi teras- ja malmdetailide valmistamiseks kasutatakse vesiklaasisisaldusega vormisegudest koorikvorme, mis on kõvastatud süsihappegaasi läbipuhumisega.

Pressklaasist koorikvormides saadakse väga täpseid ja kõrge pinnasiledusklassiga terasest, värvilistest sulamitest ja erisulamitest valandeid. Väike mehaanilise töötlemise töömaht, väikesed kulutused tööabinõudele ja lühike tsükkel võimaldavad seda meetodit kasutada väikeseeriatootmisel.

Väljasulatatavate mudelite järgi tehtav valu (pretsisioon- e. täppisvalu) võimaldab: saada keeruka kujuga toorikuid; vähendada mehaanilise töötlemise töömahtu (kuni 90%) või vältida mehaanilist töötlemist; võrreldes teiste meetoditega suurendada otstarbekalt kasutatava metalli osatähtsust ja vähendada kadusid; saada toorikuid enamikust, sealhulgas ka kuumakindlatest sulamitest.

Väljasulatatavate mudelite järgi tehtav valu on kõige efektiivsem raskesti töödeldavatest sulamitest detailidele.

Väljasulatatavate mudelite järgi valmistatakse valandeid massiga 1 g ... 500 kg, seinapaksusega alates 0,15 mm ning pikkusega kuni 1 m ja rohkem. Enam levinud on valandid massiga 50 ... 500 g, pikkusega kuni 100 mm, kusjuures minimaalne seinapaksus alumiiniumisulamitel on 0,8 mm, raua- ja kuumakindlatel sulamitel 1,3 mm. Väikseim lubatav valatud ava läbimõõt on 0,8 mm. Võib valada ka keeret, kuid see muudab survevalu vormi kalliks ja suurendab praagi tekkimise võimalust.

Valandi metalli tiheduse tagamiseks rakendatakse tsentrifugaalvalu või kombineeritud tsentrifugaal-vaakuumvalu.

Väljasulatatavate mudelite järgi tehtava valuga on võimalik saada valandeid täpsusega 4. ... 5. klass ja pinnakaredusega 3. ... 4. klass.

See meetod annab suurima efekti raskesti töödeldavatest sulamitest detailide suurseeriatootmisel, kuid real juhtudel võib saada positiivseid tulemusi ka väikeseeriatootmisel. Suhteliselt väikeste detailide (kuni 400 g) seeriatootmisel on otstarbekas kasutada grupivalu. Keeruka kujuga toorikute valamisel valmistatakse väljasulatatav mudel koostatavana.

Soolmudelite (mis eemaldatakse vormist lahustamisega) järgi valamisel paraneb valandite pinnakvaliteet. Soolmudelite tugevus on tunduvalt suurem kui parafiin-steariinsegudest mudelitel, mis võimaldab toota suurte mõõtmete ja kaaluga valandeid mittelahtivõetavais vormides. Mudeli materjal on odav ja mittedefitsiitne, mis alandab valandi omahinda.

Külmutatud elavhõbedast mudelite järgi tehtava valuga saadakse väikesi ja keskmisi kõrgendatud täpsusega valandeid. Elavhõbedast mudelite mahu suurenemine tahkest olekust vedelasse ülemineku on väike ja nad on väga tugevad.

Elavhõbedast mudelite järgi võib valmistada mittelahtivõetavaid vorme õhukeseseinaliste titaanist, kuumakindlatest ja värvilistest sulamitest valandite tootmiseks.

Valandi minimaalne seinapaksus on 0,8 mm, pinnakaredus — kuni 6. klass. Valandite läbimõõt võib olla kuni 1 m, mass kuni 140 kg.

Valu poolalalistesse vormidesse. Malmist ja värvilistest sulamitest valanditele massiga kuni 1 t kasutatakse kipsvorme.

Valumetalli nõrgal ülekuumutamisel võib saada valandeid seinapaksusega 1 ... 1,5 mm, vaakuumi rakendamisel aga keeruka kujuga alumiiniumisulameist valandeid seinapaksusega 0,2 mm või rohkem. Selle meetodiga saadakse massiivsete kärnide poolt moodustatud suurte avadega valandeid, samuti kitsaste õõnsuste ja kanalitega valandeid või väga õhukeste ja lähedal asuvate (1,5 ... 2,0 mm) väljaulatuvate osadega valandeid, nagu turbiinilabidad, hammasrataste hambad jms.

Terasest, malmist ja värvilistest sulamitest valandite tootmisel, mille mass on 0,5 kg kuni 70 t, kasutatakse tsementvorme. Eriti otstarbekohane on tsementvorme kasutada kõvadest, mehaanilist töötlemist mittevõimaldavatest sulamitest valandite tootmisel.

Tellistest laotud ja tugeva tulekindla seguga kaetud vorm võimaldab saada ilma remontimiseta kuni 10 valandit. Tellistest laotud vorme kasutatakse valandite tootmisel, mille mass on üle 15 tonni.

Kivist vormid võimaldavad saada malm- ja pronksvalandeil täiesti

siledat valgenemiseta pinda. Näiteks talk-aktinoliid-kloriid-kiltkivist vorme kasutatakse kokillide asemel mitmesugustest sulamitest väikeste valandite masstootmisel.

Valu alalistesse vormidesse. Võrreldes muldvormidesse valuga, võimaldab valu metallvormidesse (kokillidesse) tõsta tööviljakust 2...3 korda, vähendada vajalikku tootmispinda 5...6 korda, vähendada kulutusi vormimaterjalidele 50...70%, tõsta tooriku kvaliteeti, suurendada täpsust ja vähendada pinnakaredust.

Metallvormides saadakse järgmise massiga toorikuid: malmist — 10 g...7 t, terasest — 0,5 kg...4 t, värvilistest metallidest ja sulamitest — 5 g...500 kg. Valandite mõõtmete täpsus vastab 5. ... 8. klassile, pinnakaredus 3. ... 5. klassile.

Madala sulamistemperatuuriga sulamitest toorikute valamisel tehakse kärnid metallist; muude metallide valamisel tehakse need enamasti vormimullast.

Valandite välispindadel, samuti metallkärnide poolt moodustatud õõnsustel ja avadel peab olema valukalle. Vormimullast kärnide moodustatud õõnsused ja avad kujundatakse ilma valukaldeta.

Lihtsa kujuga, väikeste väljaulatuste ja süvenditega toorikud valatakse vertikaalse või horisontaalse lahutuspinnaga vormidesse, keerukamad, kärnidega toorikud valatakse kahe lahutuspinnaga (vertikaalne ja horisontaalne) vormidesse.

Vesijahutusega vormidel on tavaliste vormide suhtes suurem püsivusaeg.

Väikeste, lihtsa kujuga ja peamiselt kärnideta valandite valmistamiseks kasutatakse pneumaatilisi ja karussellitüüpi masinaid.

Seda meetodit on majanduslikult otstarbekas kasutada väikeste toorikute puhul partiide juures mitte alla 300...500 tk. ja suurte toorikute puhul mitte alla 50...300 tk. Seerialisust on võimalik vähendada vormi valmistamise omahinna alandamisega, vormi detailide unifitseerimise ja normaliseerimisega ja kärnide arvu vähendamisega. Näiteks valatud tööpindadega vormide kasutamisel (mehaaniliselt töödeldakse vaid lahutuspinnad) väheneb seerialisus 100...200 valandini. Lihtsa kujuga valandite väikese partii korral on otstarbekohane kujundada vormi vahetatavates sisseasetatavates osades (vormiliudades) esinev õõnsus vastavakujulise templi sissesurumisega. Sealjuures äralangev vormi tööpindade mehaaniline töötlemine alandab selle hinda 1,5...2 korda.

Tsentrifugaalvalu võimaldab tõsta metallvalandite tihedust, saavutada suurt tööviljakust, suurendada otstarbekalt kasutatud metalli osatähtsust 90...95%-ni, vähendada või täielikult likvideerida vormimaterjalide kasutamist.

Kõige sagedamini kasutatakse seda meetodit pöördkehakujuliste toorikute valmistamiseks; toorikute sisemised õõnsused kujundatakse sealjuures kärnideta. Võib saada ka mitmesuguse keeruka kujuprofiiliga toorikuid. Metalli valamine metallvormidesse tagab kvaliteetsema valandi ja on ökonoomsem kui valu vooderdatud vormidesse. Ent vooderdatud vormidel on suurem metallosa kasutusiga tänu väiksemale kuumenemisele.

Seda meetodit kasutatakse bimetalsete toorikute valmistamiseks nii sulametalli valamisega juba kõvenenud pinnale kui ka järjestikuse sulametallide valamisega. Viimasel juhul võib saada mitte ainult kahekihilisi, vaid ka paljukihilisi valandeid. Mitme metalli ühendamine ühes valandis võimaldab kokku hoida defitsiitseid materjale.

Teras- ja malmvalandite täpsus vastab 7. ... 8. klassile, pinnakaredus — 1. klassile.

Puksi-, rõnga-, ääriku- ja torutüüpi valandite tootmiseks soovitatakse kasutada horisontaalteljega tsentrifugaalvalumasinaid.

Vertikaalteljega tsentrifugaalvalumasinatel toodetakse hoorattaid, rattaid ja teisi pöördkehakujulisi detaile, samuti bimetalsete pukside toorikuid.

Ühespindlilise masina tootlikkus 30-kg massiga pukside valamisel kahe töötajaga on 40 toorikut vahetuses, pukside massi puhul kuni 20 kg ja ühe töötaja rakendamisel — 60 ... 65 toorikut vahetuses. Mitmespindlilistel masinatel on tootlikkus suurem.

Vabalt tugirullidele toetuva vormialusega rullitüüpi tsentrifugaalvalumasinad võimaldavad valada pukse välisläbimõõduga 200 ... 600 mm ja pikkusega 400 ... 1300 mm, kusjuures seinapaksus on 80 mm. Masina tootlikkus on 2 ... 3 valandit tunnis.

Torukujuliste toorikute ja torude valmistamiseks läbimõõduga kuni 300 mm ja pikkusega 4 m kasutatakse kaldasendis pöördeteljega masinaid. Masina tootlikkus on 9 ... 15 toru tunnis.

Survevalu kasutatakse keerukate õhukeseseinaliste, sügavate õõnsustega ja seinte keerukate lõikumistega toorikute valmistamiseks, millel on täpsed mõõtmed, sile pind, avad ja teised elemendid, kaasa arvatud ka keere. Valanditel on peeneteraline struktuur, mis tunduvalt tõstab metalli tugevust (25 ... 40% võrreldes muldvormides saadud valanditega). Eriti peeneteraline ja kulumiskindel on valukoorik, mis kujuneb sulametalli kokkupuutel metallvormiga (kooriku paksus 0,4 ... 0,6 mm). Valandite täpsus on kuni 4. ... 5. klass. Vormipindade hoolika viimistlusega võib suurendada üksikute mõõtmete täpsust kuni 3., mõnikord isegi kuni 2. klassi täpsuseni (vaid tsingisulamite valamisel).

Väikeste mõõtmete korral võib valandi seinapaksuse viia kergete sulamite puhul kuni 0,6 mm ja alumiiniumisulamite puhul kuni

1 mm. Vastutusrikaste toorikute valamisel tuleb seinapaksus valutühikute tekkimise ohu tõttu võtta mitte üle 4,5 mm. Valandisse ei soovitata ette näha keeret suurema kui 2. klassi täpsusega ja sammuga alla 1 mm. Sisekeere moodustatakse keermestatud korkkärnide kasutamisega, mis keeratakse välja peale valandi tardumist. Keermekärnide koonilisus võetakse plii-, tina- ja tsingisulamitest valanditel 1 mm 100 mm pikkusele, alumiiniumi- ja magneesiumisulameist valanditel — 2 mm 100 mm pikkusele.

See meetod võimaldab ka valandite armeerimist.

Survevalu võib kasutada valandite nende kohtade katmiseks värviliste metallide sulami õhukese kihiga, mis puutuvad kokku agressiivsete keskkondadega, või koostamismeetodina (generaatori korpuse koostamine, elektrimootori rootori koostamine). Viimasel juhul külmstantsimisega, automaatidel või muul viisil saadud väikesed detailid asetatakse vormi pesadesse ja valatakse sulametalliga üle, moodustades ühe sõlme. Valatud metalli kahanemisel ühendatakse vormi asetatud detailid tugevamini kui kokkupressimisel.

Vormiliuad tuleb valmistada täpsusega 0,02 ... 0,03 mm; õõnsuse ja vormiliua vaheline lõtk võetakse 0,05 ... 0,1 mm. Enne vormi asetamist vormiliuad puhastatakse ja kuumutatakse tsingisulamitest valandite puhul 150 ... 200° C temperatuurini, alumiiniumisulamitest valandite puhul 200 ... 250° C ja vasesulamite puhul 300 ... 500° C.

Kontaktkorrosiooni vältimiseks soovitatakse vormi sisedetailid üle tsinkida.

Valandi maksimaalne lubatud pindala oleneb masina võimsusest ja määratakse erisurve ja vormi liikuvale osale kujutatud valandi projektsioonipindala korrutisena.

Tsingi-, alumiiniumi-, magneesiumi- ja vasesulamitest valandite saamiseks soovitatakse enamasti külmade survekambritega hüdraulilisi masinaid. Need masinad kindlustavad valandite suure tiheduse. Kuumade survekambritega masinad sobivad kõige rohkem kergesti sulavatest sulamitest (plii-, tina- ja tsingisulamid) väikese massiga toorikute valamiseks.

Survevalu vormide omahind on väga kõrge, mis teeb selle meetodi kasutamise rentaabliks vaid suurseeria- ja masstootmisel (mitte alla 1000 ... 2000 valandi aastas). Grupivormiplokkide ja vahetatavate vormiliudade rakendamisel võib meetod osutuda rentaabliks ka väikeseeriatootmisel (100 ... 500 valandit aastas).

Toorikute vedelmetallist stantsimine on samuti progressiivne meetod. Sealjuures on metalli kulu minimaalne, kuna puudub valukanalite süsteem, mille kaal moodustab survevalul valandi kaalust 50 ... 300%.

See meetod võimaldab saada suurte lineaarmõõtmetega ja väikese

seinapaksusega (alates 1,5 mm — turbiinilabidad) keerukaid valandeid. Saadakse väikesekristalliline ja tihe metalli struktuur. Parimaid tulemusi saavutatakse pukside valmistamisel, mille siseläbimõõt on kuni 80 mm ja seinapaksus kuni 7 mm. Vedelmetallist stantsimisega on võimalik valmistada detaile nii deformeeritavatest kui ka valuks ettenähtud värvilistest sulamitest, kusjuures nõutav erisurve on peaaegu 6 ... 8 korda väiksem kui kuumsepistamisel.

Vedelmetallist stantsitud detailidel on sile pind, 5. ... 7. klassi täpsus ja parendatud mehaanilised omadused.

Väikeseeriatootmisel võib tagada vedelmetallist stantsimise rentaabluse stantside üksikdetailide unifitseerimisega ja grupistantside kasutamisega.

Massiivsete ja paksuseinaliste, mitmesugustest värvilistest sulamitest ja malmist valandite valmistamiseks rakendatakse stantsimist koos kristalliseerumisega kolvi surve all, mis tagab ilma valutühikuteta ja poorideta valu. See meetod võimaldab saada hea kvaliteediga äärikuteta pukse siseläbimõõduga üle 80 mm ja seinapaksusega mitte alla 8 mm. Toorikute täpsus on 3. ... 5. klass, pinnakaredus 4. ... 5. klass. Otstarbekalt kasutatud metalli osatähtsus ulatub 95 ... 98%-ni.

Vaakuumiga sisseimemise valumeetodit kasutatakse pöördkehakujuliste, põhiliselt tina-, tina-plii- ja alumiinium-raudpronksidest, mõningatest valgevasemarkidest ja teistest vase alusel saadud sulamitest detailide valandite saamiseks. Valandites esinevad õõnsused kujundatakse kas sisseimetava sulami tsentraalse, mitte tarduda jõudnud osa väljavalamisega või varem vormi asetatud muldkärnidega. Selle meetodi kasutamisel: vähenevad töötlemisvarud; võib kasutada madalama sordilisusega täidismaterjale; sisseimemisel puudub vormi valatava metalli juga, millega väldi-takse liigne oksiidide sattumine valandisse — oluline tähtsus vasesulamitest valandite puhul; väheneb metallikulu valukanalite süsteemile. Selle meetodiga valmistatakse pukse läbimõõduga 30 ... 100 mm, pikkusega 250 ... 300 mm ja seinapaksusega 8 ... 10 mm.

Valandi välispind on puhas ja sile. Sisepind on karedam ja lainelise profiiliga. Muldkärnide kasutamine võimaldab vähendada sisepinna töötlemisvaru umbes 2 ... 2,5 korda. Seadmete tootlikkus on kuni 70 valandit tunnis.

Kastevalu on majanduslikult õigustatud bimetalliliste pukside masstootmisel. Tooriku materjaliks on süsinikterasest külmtõmmatud või külmvaltsitud õmblusteta torud. Toorikute pikkus võetakse 250 ... 300 mm (5 ... 6 puksile). Pronksi tugeva liitumise saamiseks terasega söövitatakse toorikuid enne sissekastmist väävelhappega, pestakse jooksvas vees ja kuivatatakse.

Olemasolevaid seadmeid võib häälestada etteantud režiimile ja need võivad töötada poolautomaatselt. Üheaegselt saadakse kuni 10 toorikut.

Pressvalu rakendatakse suuregabariidiliste õhukeseseinaliste paneelitüüpi detailide saamiseks seinapaksusega 1 mm ja rohkem ning pindalaga mitu ruutmeetrit. Valandid on tiheda struktuuriga ja sileda pinnaga.

Toorikute valmistamine survetöötlemisega. Toorikuid võib kujundada sepistamisega ja stantsimisega (kuumalt, külmalt ja lehtmaterjalist).

Sepistamine. Vabasepistamist tehakse auru-, pneumo- või vedruvasaratega ja hüdrauliliste sepistuspressidega.

Kuni 40 kg massiga tavalise profiiliga valtsmaterjalist kujusepiste valmistamiseks kasutatakse pneumo- või vedru-, mõnikord ka auruvasaraid langevate osade massiga kuni 1 tonn.

Kuni 300 kg kujusepiste valmistamiseks kasutatakse auruvasaraid langevate osade massiga 1 ... 3 t, suuremad sepised kujundatakse auruvasarail langevate osade massiga kuni 5 t ja hüdraulilistel sepistuspressidel survejõuga kuni 7 844 800 N (800 T). Võrreldes auruvasaratega tõstab sepistuspresside kasutamine tööviljakust 30 ... 50%.

350 t massiga valuplokkidest saadavaid raskeid sepiseid valmistatakse hüdraulilistel sepistuspressidel survejõuga 7 844 800 ... 11 767 200 N (800 ... 1200 T) ja üle selle. Sepistusprotsessis eemaldatakse nii valupea osa, milles paikneb valutühik, kui ka põhjaosa; valupea mass moodustab 20 ... 25%, põhjaosa mass 5 ... 10% valuploki massist. Otstarbekalt kasutatud metalli osatähtsuse suurendamiseks kasutatakse ratsionaalse kujuga valuplokke (lühendatud valupeaga, valatud vaakuumi kasutamisel või õõnsaid, saadud tsentrifugaalvaluga).

Väikeste ja keskmise massiga detailide puhul on vabasepistamine otstarbekas vaid individuaaltootmises. Süsinik- ja legeeritud terasest sepiste mõõtmete täpsuse reglementeerib pressidel vabasepistamisel ГОСТ 7062-54 ja vasaratel ГОСТ 7829-55.

Allapandavate stantsidega sepistatakse sepistusvasaratel või väikeseeriatootmises hüdraulilistel sepistuspressidel. Lihtsatele sepistele antakse nende lõppkuju vahetult lähtetooriku — ümar- või ruutristlõikega valtsmaterjali sepistamisega. Allapandavate stantsidega sepistatud toorikute mõõtmete tolerantsid lähenevad ГОСТ 7505-55 kolmandale täpsusgrupile.

Sepisele lõppkuju andmiseks kulutatud aja vähenemise tõttu suureneb tööviljakus allapandavate stantsidega sepistamisel vabasepistamisega võrreldes 3 ... 5 ja rohkem korda.

Radiaalsepistamismasinatel toimub latt- või torumaterjalist tooriku sepistamine selle perioodilise surumise ja venitamisega mitme

(2...4) pinni järjestikuste ja kiirete löökidega programmseadme juhtimisel.

Rakendatakse nii kuum- kui külmsepistamist. Külmsepistamisel saadakse täpsus $\pm 0{,}02 \ldots \pm 0{,}2$ mm ja pinnakaredus kuni 8. ... 10. klass ГОСТ 2789-59 järgi; kuumsepistamisel on täpsus $\pm 0{,}05 \ldots \pm 0{,}3$ mm ja pinna ebatasasuste kõrgus ei ületa 300 μm. Meetod on otstarbekohane väikeseeriatootmisel.

Kuum vormsepistamine. Vasaratel sepistamist rakendatakse seeria- ja masstootmisel. Vajaliku kujuga toorik saadakse tavaliselt mitmes ühte stantsiplokki kujundatud vaos. Stantsiploki tugevdamiseks muudetakse tooriku kuju tihti kahes või rohkemas stantsis. Sageli toimub see protsess erinevatel seadmetel, näiteks kahel vasaral, sepistusvaltsidel ja vasaral, horisontaalsepistusmasinal ja vasaral või mõne teise sepistusseadmete kombinatsiooni rakendamisel.

Väikeste sepiste mitmelisel stantsimisel perioodilisest valtsmaterjalist (saadud valtspinkidel või sepistusvaltsidel) saavutatakse tööviljakuse tõus. Sellisel juhul kahaneb stantsi ettevalmistusvagude arv miinimumini. Mõningate sepiste valmistamisel saavutatakse metalli tunduvat kokkuhoidu sisejääkide ärakasutamisega. Induktsioonkuumutusega stantsimisel on suuri eeliseid; võrreldes leekahjudes kuumutamisega väheneb tooriku dekarboniseeritud kihi paksus 8...10 korda, tagikihi paksus 2...3 korda. See meetod parandab töötingimusi, tagab suure kuumutuskiiruse, samuti võimaluse toorikute etteandmist ja väljatõukamist automatiseerida, tagab kuumutustingimuste stabiilsuse ja saadavate toorikute suure täpsuse.

Viimasel ajal kasutatakse suurte sepiste ühevaolisel valmistamisel, kui vasarate langevate osade mass ületab 4 t, šabotita (massiivne vasarseadme alus) vasaraid. Nendel vasaratel on šaboti asemel teine liugur. Löögi korral liiguvad mõlemad liugurid teineteisele vastu, saavutades löögi energiaks 800...1000 kJ (80 000... 100 000 kGm). Šabotita vasarate tootlikkus pole madalam kui tavalistel vasaratel.

Vasaratel sepistatud toorikute täpsuse, töötlemisvarud ja töötlemislisad reglementeerib ГОСТ 7505-55.

Horisontaalsepistusmasinail sepistatakse toorikuid massiga 0,1... 100 kg.

Sepiste kõrge kvaliteet on tingitud materjalikiududele soodsa asendi andmise võimalusest.

Metalli ökonoomse kasutamise tagab kraatideta stantsimine (lihtsad toorikud) või stantsimine kraatidega, mille mass ei ületa 0,5...1% sepise massist (keerukad toorikud).

Stantsil esineva kahe ristiasetseva lahutuspinna olemasolu võimaldab saada sellise kujuga sepiseid, mida ei saa teistel seadme-

tel. Näiteks võib horisontaalsepistusmasinatel saada läbiavaga ja sügava umbõõnega sepiseid, mida saadakse kõrgendatud täpsusega lattmaterjalist ja torudest pikkusega 3,5...4,0 m ja läbimõõduga 20...270 mm. Horisontaalsepistusmasinail valmistatud toorikute tolerantsid reglementeerib samuti ГОСТ 7505-55. Hüdropressidel sepistatakse pressi tööjõu juures kuni 980 MN (100 000 T). Seda meetodit rakendatakse: toorikute saamiseks otse- ja vastupressimisega; kergetest väheplastsetest sulamitest toorikute saamiseks, mis nõuavad väikesi deformatsioonikiirusi; raskete ja suuregabariidiliste sepiste stantsimiseks; värvilistest metallidest toorikute saamiseks vedelas ja poolplastses olekus.

Hüdropressidel stantsitud toorikute töötlemisvarud ja tolerantsid on 50...75% suuremad, võrreldes vasaratel saadud sepiste töötlemisvarude ja tolerantsidega.

Hüdropresside aeglasest tööliikumisest (deformeerimiskiirus 2,5... 5 cm/s) tingitud madal tootlikkus suurendab sepiste omahinda, võrreldes vasaratel ja ekstsentrikpressidel saadud sepistega.

Friktsioonpressidel sepistatakse väikeseeria- ja seeriatootmises eelistatult ühes vaos kujundatavaid sepiseid.

Friktsioonpresse kasutatakse sageli värvilistest sulamitest keerukate sepiste täpseks stantsimiseks. Nendel pressidel sepistamist iseloomustab suur tootlikkus (200...1000 tk/tunnis) ja metalli kokkuhoid kraatideta või väikeste, kergelt eemaldatavate kraatidega sepiste saamise tõttu. Toorik stantsitakse kuumvaltsitud või külmtõmmatud lattmaterjalist, samuti ka valandeist (värvilistest metallidest toorikud).

Ekstsentrikpresse rakendatakse peaaegu kõikide kuumstantsimistööde juures. Pressidel võib sepistada mitmesuguse kujuga sepiseid massiga kuni 100 kg (rummud, hammasrattad, kepsud, väntvõllid jm.).

Deformatsioonirežiimide muutumatus tagab sepiste mõõtmete ja mehaaniliste omaduste stabiilsuse. Ekstsentrikpressidel stantsimisel on töötlemisvarud ja tolerantsid 20...35% väiksemad kui vasaratel sepistamisel. Tõukurite olemasolu liuguril ja töölaual lubab vähendada sepistuskaldeid 1...3°-ni, mis vähendab metallikulu sepisele kuni 10% ja rohkemgi.

Ekstsentrikpresside tootlikkus on sama võimsusega vasaratega võrreldes 2...3 korda suurem. Nendel võib stantsida toorikuid pressimisega, kusjuures saadakse metalli head mehaanikalised omadused, tooriku täpne kuju ja mõõtmed.

Sepistusvaltsidel stantsimisega saadakse toorikute rida, kus üksikud toorikud on omavahel ühendatud õhukese jääkmetallikihiga, millest nad hiljem vastaval lõikepressil vabastatakse. Nendel valtsidel on võimalik kujundada ka perioodilise profiiliga toorikuid ning piki- ja ristlõikes määratud konfiguratsiooniga toori-

kuid. Sageli rakendatakse sepistusvaltse koos vasarate või pressidega, kusjuures nendel tehtav venitamine kujutab endast eel- või lõppoperatsiooni.

Võrreldes sepiste stantsimisega vasaratel või ekstsentrikpressidel, suureneb tootlikkus sepistusvaltsidel stantsimisel 5...10 korda, metallikulu väheneb 5...10% ja sepiste omahind alaneb 10...15%.

Sepistusvaltsid on lihtsad ja odavad seadmed, nad lihtsustavad stantsimisprotsessi automatiseerimist.

Külm vormsepistamine (jämendamine). Selle meetodiga saadakse kinnitusdetaile (poldid, kruvid, needid), sõrmi, klapitõukureid, rulle ja kuule, väikesi astmelisi võlle jms. detaile. Real juhtudel jämendatakse eelkuumutusega.

Külmjämendatakse jämendamisautomaatidel, mille tootlikkus on 30...400 tk/min ja rohkem.

Külmjämendamisel saadakse tooriku mõõtmed täpsusega 2. ... 5. klass ja pinnakaredus 6. ... 7. klass.

Külmjämendamine ühendatakse sageli varbmaterjali redutseerimisega (läbimõõdu vähendamisega) või varbmaterjali sileda osa kalibreerimisega selle läbitõukamisega erilisest matriitsist.

Külmjämendamisega töödeldakse kalibreeritud süsinik- või legeeritud terasest, värvilistest metallidest ja sulamitest lattmaterjali läbimõõduga mõni kümnendik millimeetrit kuni 25 mm ja rohkem.

Selle meetodi juures on jäätmed väga väikesed. Võrreldes samaliigiliste detailide valmistamisega metallilõikepinkidel (valtsitud lattmaterjalist), ulatub metalli kokkuhoid külmstantsimisel 40%-ni.

Elektrilisel jämendamisel teostatakse eelnevalt pingil töödeldud tooriku kohalik kuumutamine pressil. Selleks juhitakse materjalist läbi madala pingega elektrivool. 2 ... 4 s kestval kuumutamisel tõuseb materjali temperatuur 900...1000° C-ni, seejärel liigub pressi liugur alla, toorik jämendatakse ja tõugatakse välja.

Elektriline jämendamine võimaldab saada 2. ... 3. klassi täpsusega toorikuid ilma tagikihita, sest kuumutamine toimub väga kiiresti.

Lehtmaterjali külmstantsimine. Selle meetodiga saadakse kattedetaile, kartereid, kaasi, kübaraid, kilpe, kettaid, tihendeid. Lähtematerjaliks on õhuke lehtmaterjal või lint. Stantsimisel deformeeritud metalli plastsete omaduste taastamiseks kasutatakse lõõmutamist, misjärel puhastatakse söövitamisega ja pestakse. Lehtmaterjali külmstantsimine on kõrge tootlikkusega tehnoloogiline meetod.

Väga efektiivsed on lehtmaterjali stantsimisel grupistantsid (otstarbekohased, kui partiis on 70 ... 80 detaili).

Lehtmaterjali stantsimise täpsus on kompaundstantsil ±(0,02 ... 0,08) mm, järjestikusel stantsil ±(0,10 ... 0,30) mm ja lihtstantsidel ±(0,30 ... 0,50) mm. Külmstantsitud detailide vabade mõõtmete tolerantse saab hoida 7. klassi piires.

Sepiste õgvendamine. Seda operatsiooni rakendatakse sepiste kõverustest ja kõmmeldumistest vabastamiseks, mis tekivad kraatide ja sidepindade (sisekraat) äralõikamisel templi tugipinna ebatihedast toetumisest tooriku pinnale ja jääkpingetest materjalis.

Õgvendatakse kuumalt või külmalt. Kuumõgvendatakse pressil peale kraatide ja sidepindade eemaldamist.

Külmõgvendatakse peale termilist töötlemist ja sepise tagist puhastamist.

Pragude tekkimise vältimiseks külmõgvendatakse sepiseid lõõmutatud või normaliseeritud olekus. Külmõgvendamine stantsidel on kuumõgvendamisest tootlikum (100 ... 150 tk/tunnis).

Kalibreerimine (vermimine). Seda viimistlusoperatsiooni tehakse nii kuumas kui ka külmas olekus. Külmkalibreerimine ekstsentrik-vermimispressidel annab suure mõõtmete täpsuse ja kõrgekvaliteedilise pinna. Vasaratel ja pressidel tehtav kuumkalibreerimine tagab väiksema täpsuse ja seda kasutatakse suurte stantsitud toorikute korral. Kalibreeritakse kuumstantsimispressidel (vermimispressidel), kruvi-friktsioonpressidel ja vasaratel. Vajalik kalibreerimisjõud oleneb metalli omadustest, tooriku kujust ja mõõtmetest. Orienteerivalt võib võtta toorikute tasapinnalisel kalibreerimisel kalibreeritava pinna horisontaaltasapinnale kujutatud projektsiooni pindala ühikule mõjuva jõu süsinikterastel 13 ... 16 T/cm², legeeritud terastel 16 ... 20 T/cm². Kalibreeritavate pindade vaheliste mõõtmete tolerantsid reglementeerib ГОСТ 7505-55.

Mitmekordsel kalibreerimisel koos vahepealse termilise töötlemisega (pingetest vabanemiseks) võib saada tolerantsiks kuni 0,1 ... 0,3 mm. Ruumilisel kalibreerimisel on tolerantsid peaaegu 1,5 korda suuremad kui tasapinnalisel kalibreerimisel.

Saavutatav pinnakaredus on külmkalibreerimisel 6. ... 8. klass, kuumkalibreerimisel 3. ... 5. klass.

Kuumstantsimine koos järgneva kalibreerimisega annab metalli tunduvat kokkuhoidu, võrreldes tavalise stantsimisega ja sellele järgneva töötlemisega metallilõikepinkidel. Kalibreerimisoperatsioon on tunduvalt odavam ja 40 ... 50 korda tootlikum metallilõikepinkidel tehtavatest operatsioonidest. See ei nõua töötaja kõrget kvalifikatsiooni, keerukaid rakiseid ja stantse.

Toorikute valmistamine valtsmaterjalist. Sepiste tootmiseks ja detailide valmistamiseks vahetult metallilõikepinkidel kasutatakse tavalise ja eriprofiiliga valtsmaterjali.

Viimasel juhul kasutatakse kalibreeritud lattmaterjali ГОСТ 7417-57 järgi ja kõrgendatud ning tavalise täpsusega kuumvaltsitud terast ГОСТ 2590-57 järgi.

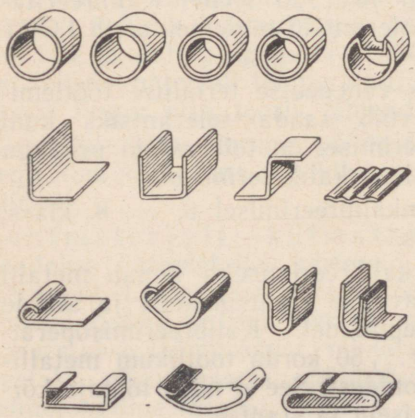
5. klassi täpsusega kalibreeritud lattmaterjali töödeldakse määratud lõikeservaga lõikeriistadega, lati kinnitamisega tsangpadrunisse. 4. ja kõrgema täpsusklassiga lattmaterjali tavaliselt ei töödelda määratud lõikeservaga lõikeriistadega, vaid vahetult lihvimisega.

Kuumvaltsitud terasest valmistatakse detaile kas tükeldatud toorikutest või vahetult lattmaterjalist. Vastavakujuliste detailide tootmiseks kasutatakse ruut-, kuuskant-, riba- ja muu ristlõikega terast, samuti õmbluseta ja keevitatud torusid.

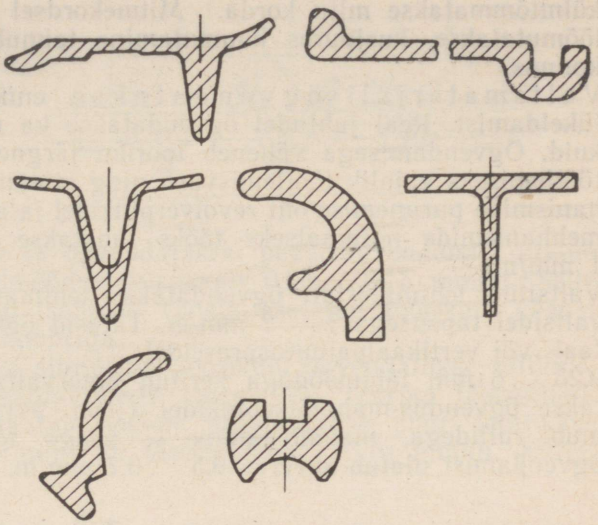
Viimasel ajal levib võllitoorikute ribamaterjalist saamise meetod, kusjuures vajaliku pikkusega ribamaterjali tükk valtsitakse silindriks ja tekkiv õmblus keevitatakse rullkeevitusseadmel. Silinder õgvendatakse; vajalikud astmed moodustatakse kokkusurumisega hüdropressidel. Generaatori võllide valmistamisel saavutatav materjali kokkuhoid ulatub 62%-ni.

Painutatud profiiliga materjali (joon. 91) kasutatakse paljude detailide valmistamiseks. See materjal on kerge ja küllalt suure jäikusega.

Ribakujulise materjali pikisuunalise painutamisega saadakse nii avatud ja suletud profiiliga kui ka mitmekihilisi profiilmaterjale. Painutatud riba ristlõike kuju saab lähendada konstruktsiooni üksikelementide ristlõikele. Profileeritud metallil on suur mõõtmete ja sirgjoonelisuse täpsus.



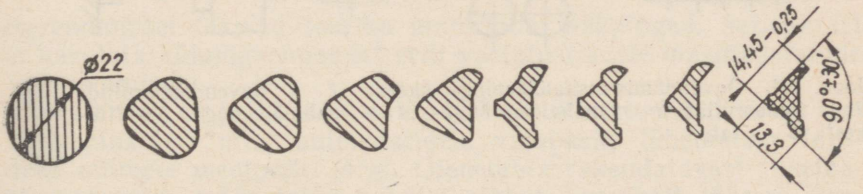
Joon. 91. Painutatud profiilid



Joon. 92. Eriprofiiliga valtsmaterjalid

Detailide valmistamisel kuju- või vahelduva profiiliga torudest võib saavutada metalli kokkuhoidu (20...70%) ja töötlemisaja vähenemist (20...40%).

Eriprofiiliga valtsmaterjali (joon. 92) kasutatakse suurseeria- ja masstootmisel (põllutöömasinad, vagunid, autod), kusjuures mehaaniline töötlemine kas langeb täiesti ära või kahaneb tunduvalt, seisnedes põhiliselt mahalõikamises, avade puurimises ja puhastamises. Detailide valmistamiseks kasutatakse piki-, rist- ja ristkeermelist valtsmaterjali. On seadmeid, kus toimub üheaegselt pidevvalu koos ristvaltsimisega.



Joon. 93. Ümarvaltsmaterjali külmtõmbamise siirded erikujuga profiilmaterjali saamiseks

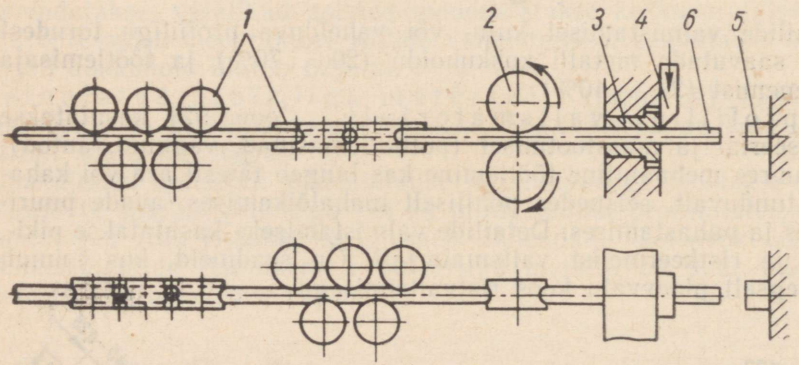
Profiilne külmtõmbamine. Selle meetodiga saadakse valmisdetailile vastava ristlõikega profiile (joon. 93). Külmtõmbamisega võib saada väga erinevatele detailidele vastavaid profiile (põrkrattad, väikesed hammasrattad jt.). Saavutatakse kuni 4. klassi täpsus ja 6. klassi pinnakaredus. Kõrge nõutava täpsuse (suurusjärgus 0,003 mm) ja väikese pinnakareduse saavutamiseks

külmtõmmatakse mitu korda. Mitmekordsel tõmbamisel vardad lõõmutatakse, kusjuures kuumutamine toimub kaitsegaasi keskkonnas.

Valtsmaterjali õgvendatakse enne lati mõõdu järgi tükeldamist. Real juhtudel õgvendatakse ka mahalõigatud toorikuid. Õgvendamisega väheneb tooriku järgnevaks mehaaniliseks töötlemiseks vajalik töötlemisvaru ning etteande- ja kinnitusmehhanismide purunemise oht revolverpinkidel ja automaatidel (nende mehhanismide normaalseks tööks lubatakse kõverust mitte üle 1 mm/m).

Valtsitud lehtmaterjali õgvendatakse lehtmaterjali õgvendamisvaltsidel täpsusega 1 ... 2 mm/m. Talasid õgvendatakse horisontaal- või vertikaalpainutuspressidel.

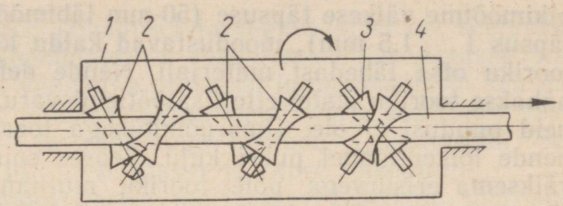
0,25 ... 6 mm läbimõõduga keritud ümarvaltsmaterjali õgvendatakse õgvendus-mahalõikepinkidel (joon. 94): õgvendamine toimub rullidega, mahalõikamine — noaga tõkesti järgi; peale õgvendamist ulatub kõverus 0,5 ... 0,7 mm/m.



Joon. 94. Õgvendamis-mahalõikepingi skeem: *1* — õgvendamisrullid; *2* — tõmberullid; *3* — mahalõikerõngas; *4* — mahalõikenuga; *5* — tõkesti; *6* — latt

Kuni 120 mm läbimõõduga ümarvaltsmaterjali õgvendatakse õgvendamis-kalibreerimispinkidel (joon. 95): õgvendamine toimub õgvendamis-, kalibreerimine aga kalibreerimisrullidega. Peale õgvendamist ulatub töötlemata lattide kõverus 0,5 ... 0,9 mm/m ja töödeldud lattide kõverus 0,1 ... 0,2 mm/m.

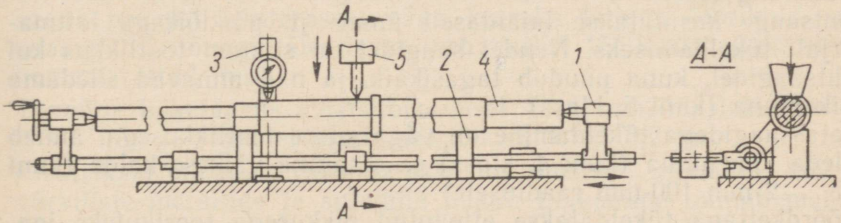
Läbimõõdu osas ulatub kalibreerimise täpsus 0,03 ... 0,05 mm-ni. Pressidel külmõgvendatakse (joon. 96) tsentriavadega toorikuid. Kõveruse asukoht ja suurus määratakse indikaatoriga, pöörates toorikut tsentrite vahel, mis seejärel eemaldatakse; toorik laskub



Joon. 95. Õgvendamis-kalibreerimispingi skeem: *1* — pöörlev raam; *2* — õgvendamisrullid; *3* — kalibreerimisrullid; *4* — õgvendatav latt

jäikadele prismadele ja õgvendatakse; peale õgvendamist ulatub kõverus tooriku läbimõõdust olenevalt 0,05 ... 0,15 mm/m. Selle meetodi eriliigiks on tsentrite vahele asetatud toorikute käsitsi õgvendamine kruviklambriga.

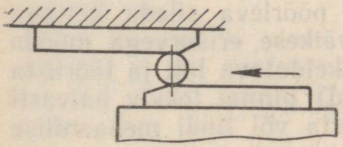
Kuni 200 mm pikkusi silindrilisi toorikuid õgvendatakse rullimispinkidel siledate tasaplaatidega (joon. 97). Tooriku läbirullimisega siledate tasaplaatide vahelt saavutatakse suur tootlikkus (suurusjärgus 60 tk/min) ja täpsus 0,05 ... 0,10 mm/m. Külm-



Joon. 96. Pressil õgvendamise skeem: *1* — eemaldatavad tsentrid; *2* — tugiprismad; *3* — indikaator; *4* — toorik; *5* — liugur

õgvendamisel tekivad tooriku materjalis jääkpinged. Sellepärast ei kasutata külmõgvendamist eriti vastutusrikaste masinadetailide valmistamisel.

Valtsmaterjali tükeldatakse üksiktoorikuteks ja revolverpinkidele ning automaatidele vajalikeks lühemateks lattideks mitmete meetodite järgi. Olenemata rakendatavast tükeldamismeetodist, määratakse tooriku pikkus tavaliselt tõkesti järgi (sel juhul toorikute pikkuse täpsus ei olene nende pikkusest). Mitmesuguse ristlõikega sordilist, leht- ja lattmaterjali tükeldatakse ekstsentrikpresskääridel. Avatud lõikenoad annavad tooriku



Joon. 97. Rullimispinkidel õgvendamise skeem

pikimõõtme väikese täpsuse (50-mm läbimõõdu juures tükeldamistäpsus 1 ... 1,5 mm), moodustavad kaldu lõikepinna ja muljuvad tooriku otsa lähedast materjali. Nende defektide eemaldamiseks nähakse tooriku otstel ette lisatöötlemisvaru. Suletud lõikenugadel neid puudusi ei ole. Ümarpõiklõikega toorikute tükeldamisel on nende lõikenugadel puksi kuju. Seoses suure kontaktpinnaga ja väiksema erisurvega pole tooriku muljumine nimetamisväärne, täpsus on aga kaks korda suurem. Suletud noad paiknevad erilises rakises — stantsis, mis on asetatud ekstsentrikpressile. Meetodi puuduseks on lühikesteks toorikuteks ($l < 1{,}5d$) tükeldamise võimatus.

Mehaanilistel lehtsaagidel on kõige väiksem tootlikkus, kuid universaalsuse tõttu kasutatakse neid laialdaselt. Nende eelised: sile lõikepind (3. ... 4. klass), tooriku otspinna väike kalle (kuni 2 ... 2,5 mm 100-mm läbimõõdu kohta) ja väike metallikadu laastudena (saelehe paksus on 1,5 ... 2,5 mm). Tootlikkuse tõstmiseks asetatakse tükeldatava lattmaterjali pakk prismaatilistesse kruustangidesse.

Lintsaage kasutatakse laialdaselt ümar- jt. põiklõikega lattmaterjali tükeldamiseks. Nendel saagidel on suurem tootlikkus kui lehtsaagidel, kuna puudub tagasikäik, ja nad annavad siledama lõikepinna (kuni 5. klass).

Ketassaagidega tükeldamine on väga suure tootlikkusega, annab sileda lõikepinna (kuni 4. klass) ja otspinna väikese kalde (kuni 1,5 ... 2 mm 100-mm raadiusele).

Hõõrdkettaga tükeldatakse etteantud pikkusega toorikuteks igasuguse ristlõikega ja igasugusest materjalist profiilmaterjali, kaasa arvatud ka väga tugevad raskesti töödeldavad konstruktsiooniterased. Tükeldamine põhineb hõõrdesoojuse ärakasutamisel, mis tekib tükeldatava metalli ja ketta perifeerse osa kontakttsoonis. Tükeldatava metalli temperatuur tõuseb kontakttsoonis niivõrd (800 ... 1100° C), et metall sädemete vihu kujul tekkivast lõhest kergesti eraldub, kusjuures hõõrdketta kulumine on väga väike. Lõikepind on ebatasane, seda on vaja täiendavalt töödelda.

Mahalõiketeradega tükeldamist rakendatakse treipinkidel ümarristlõikega lattmaterjalist ja torudest toorikute saamisel. Lõike pinnakaredus on kuni 6. klass, otspinna hälve telje ristasendist kuni 0,1 mm 100 mm kohta. Lõike minimaalne laius on 2,5 ... 3 mm. See on kõige efektiivsem torude tükeldamise meetod, kuna lõiketera nihke pikkus võrdub toru seinapaksusega.

Anoodmehaaniline tükeldamine toimub pöörleva sileda kettaga või lindiga. Tööriist (katood) libiseb väikese erisurvega mööda lõikepinda, elektrolüüdijuga juhitakse tükeldatava lati ja tööriista vahelisse pilusse. Sealjuures lati (anood) pinnal tekkiv halvasti voolu juhtiv pinnakiht eemaldatakse ketta või lindi mehaanilise

toimega. Tooriku metalli kõvadusel ja tugevusel ei ole seejuures olulist tähtsust. Anoodmehaanilisel tükeldamisel kasutatakse alalisvoolu; vahelduvvool vähendab protsessi intensiivsust ja suurendab tööriista kulumist. Elektrolüüdina kasutatakse vesiklaasi vesilahust, samuti fosfor- ja ränihappe soolade vesilahuseid. See meetod annab sileda (4. ... 5. klass) ja täpse lõikepinna.

Lihvketastega tükeldatakse karastatud terasest toorikuid, tööriistaterastest ja teistest kõvadest materjalidest latte. Lõikepinna karedus — 6. ... 7. klass.

Gaaslõikamist (hapnikuga) rakendatakse lehtmaterjali, ribamaterjali ja valtsitud profiilmaterjali, samuti terasvalandite tükeldamiseks. Õigesti tehtud gaaslõikamine ei põhjusta lõikeservade ülekuumenemist ega sulamist. Lõike pinnakihis toimub terase normaliseerumine sügavuseni 2 ... 5 mm, karastuvatel terastel aga karastumine, mida on võimalik kõrvaldada kohaliku või üldlõõmutamisega.

Šablooni järgi tehtava gaaslõikamisega (kopeerlõikamine) võib saada paksust lehtterasest väga keeruka kujuga toorikuid, mis peaaegu ei nõuagi täiendavat mehaanilist töötlemist (ketirattad, hammasrattad jms.).

Tavaline lõiketäpsus käsitsilõikamisel on 1 mm, masinlõikamisel $\pm$ 0,5 mm ja täpsetel masinatel lõikamisel $\pm$ 0,2 mm.

Elektrikaarlõikamist rakendatakse nii mustade metallide kui ka värviliste metallide ja sulamite puhul. Lõikamine toimub metalli väljasulatamisega lõiketsoonist. See meetod ei võimalda sellist täpsust ja lõikepinna siledust nagu hapnikuga lõikamine.

Toorikute valmistamise kombineeritud meetodid. Keerukate toorikute valmistamisel osutub ratsionaalseks nende jaotamine üksikuteks lihtsateks osadeks, mida on võimalik valmistada progressiivsete meetodite järgi, ja hiljem nende osade üheks tervikuks ühendamine jootmisega, keevitamisega või mõnel teisel meetodil.

Enam levinud on keevitamine. Viimastel aastatel on loodud uued keevitusmeetodid, näiteks elektri-räbukeevitus, mis muutis põhjalikult rea detailide valmistamise tehnoloogiat ja andis võimaluse igasuguse paksusega metalldetailide keevitamiseks. Tootmisse on juurutatud kaitsegaasi keskkonnas keevitamine; on välja töötatud hõõrd-, elektronkiirega (vaakuumis) ja ultraheliga keevitamise meetodid. Võrreldes terviktooriku valmistamise tehnoloogiaga valamisel ja sepistamisel lihtsustub keeviskonstruktsiooni üksikelementide valmistamise tehnoloogia tunduvalt ja keevitatud toorik osutub tavaliselt kaalult kergemaks. Selle üksikud raskemates tingimustes töötavad elemendid võib valmistada legeeritud terasest. Keevitatud tooriku üksikelementideks võivad olla sordiline

või profiilvaltsmaterjal, stantsitud ja sepistatud toorikud ja valandid.

Leht- või valtsmaterjali tükeldatakse ja seejärel keevitatakse suurte toodete, nagu vesiturbiinide vundamendile toetuvate rõngaste, mootorite raamide, raskete pinkide, sängide jms. valmistamisel.

Vahetoorikute sepistamist koos järgneva keevitamisega rakendatakse näiteks suurte väntvõllide valmistamisel.

Metallkeraamiline tehnoloogia (pulbermetallurgia).[1] Metallkeraamiline tehnoloogia annab võimaluse toorikute ja masinadetailide valmistamiseks materjalidest, mis koosnevad sulas olekus mitteseguneva test metallidest (raud-plii, volfram-vask) või metallide ja mittemetallide ühendeist (vask-grafiit jt.).

Metallkeraamilistest materjalidest toorikud saadakse pulbrite segude kokkupressimisega vastavates pressvormides 100 ... 600 MN/m² (1000 ... 6000 kG/cm²) surve juures ühes järgneva paagutamisega (külmpressimine); kokkupressimist ja paagutamist võib ühendada (kuumpressimine). Pulbrid saadakse kuulveskites ja kollerveskites (osakeste suurus 0,04 ... 0,10 mm) või peenestamisega keerisveskites (osakeste suurus 0,02 ... 0,04 mm).

Metallpulbreid võib saada ka sulas olekus olevate kergesti sulavate metallide ja sulamite tolmustamisega suruõhu- või aurujoaning teistel meetoditel.

Peenendatud pulbrid eraldatakse fraktsioonidesse sõelumisega või õhksepareerimisega. Pulbreid segatakse trumlites või kuulveskites. Kokkupressimine toimub hüdro- või ekstsentrikpressidel, paagutamine aga gaasi- või elektriahjudes. Paagutamise temperatuur on madalam põhikomponendi sulatamistemperatuurist. Paagutamise eesmärgiks on valmistatavate detailide mehaaniliste omaduste parendamine. Paagutamise aeg kõigub olenevalt toote mõõtmetest ja materjali paagutatavusest 15 min. kuni 24 tunnini.

Kuumpressimisega valmistatakse tavaliselt ainult suurte mõõtmete ja massiga (kuni 100 kg) detaile või õhukesi plaate, kettaid ja teisi detaile, millel on kalduvus paagutamisel kõmmelduda.

Toorikute täpsete mõõtmete ja vajalike omaduste saamiseks töödeldakse neid sageli peale paagutamist mehaaniliselt või termiliselt, samuti kalibreeritakse pressvormides.

Mittepoorsete metallkeraamiliste toorikute lõiketöötlemine ei erine tavalisest metallide ja sulamite töötlemisest. Jahutusvedeliku pooridesse sattumise vältimiseks töödeldakse poorseid metallkeraa-

[1] Pulbermetallurgia arendamisele pani aluse prof. A. P. Sobolevski.

milisi toorikuid jahutuseta; ka lihvimist nende toorikute juures ei rakendata, kuna sel juhul võiksid sattuda pooridesse abrasiivaine terakesed.

Plastmassidest toorikud ja masinadetailid. Plastmasside laialdane kasutamine masinaehituses on tingitud nende väikesest erikaalust, lööke summutavast toimest, püsivusest agressiivsetes keskkondades, elektrilistest, soojuslikest, heliisolatsiooni- ja hõõrdeomadustest, detailideks ümbertöötamise lihtsusest ja teistest omadustest.

Enamasti on plastmassid mitmekomponendilised süsteemid. Nad koosnevad sideainest, täiteainest, plastifikaatorist, värvainest, määrdeainest, katalüsaatorist, inhibiitorist ja teistest lisanditest. Üksikute komponentide ja nende suhete valikuga antakse materjalile soovitud omaduste kompleks. Sideainena kasutatakse tehisvaike (termoplastseid ja termoreaktiivseid), nende vaikude omavahelisi või kautšukiga sulameid ja tselluloosieetreid.

Plastmassid jaotatakse täiteaine iseloomu järgi pulbrilisteks (presspulbrid või valatavad koostised), kiulisteks ja kihilisteks materjalideks. Täiteaine õige valik võimaldab tõsta plastmassi kvaliteeti ja tunduvalt laiendada nende kasutusala.

Pulbrilise täiteainega plastmassid on enamasti termoreaktiivsed. Täiteainena esineb puidujahu, peenestatud kvarts, talk, peenestatud šlakk, bariit, grafiit, alumiiniumhapend, ränikarbiid ja paljud teised. Laialdane täiteainete sortiment võimaldab toota väga mitmesuguste omadustega pressmaterjale.

Üldotstarbeliste detailide (korpused, nupud, käsirattad, keermetatud kübarsulgurid) valmistamiseks kasutatakse presspulbreid K-15-2, K-115-2, monoliiti ФФ jt.; K-18-22-tüüpi presspulbrid on veekindlad, K-18-42-tüüpi — soojuskindlad, ФКГ-tüüpi — happekindlad. K-104-205-tüüpi presspulbreid soovitatakse kasutada pooljuhttoodete valmistamiseks. Kõikidest presspulbrite liikidest saadakse valmistooteid kuumpressimisega või valupressimisega. Suurte toodete vormimisel rakendatakse vibrotihendamist. Eriliste tehnoloogiliste meetoditega on võimalik muuta presspulbrite standardseid omadusi. Näiteks pressitud toodete kiire jahutamine suurendab pinna kõvadust ja materjali üldtugevust; pressitud toodete hoidmine termostaadis suurendab elektriisolatsioonilisi omadusi ja mõõtmete stabiilsust.

Lehelise täiteainega plastmassid on termoreaktiivsed. Materjali hõõrdeomadused, kõvadus, löögi- ja vibropüsivus, kuumakindlus, kaod ja töötlemise tehnoloogia olenevad täiteainete omadustest. Nii on keskmine epoksüvaikude tõmbetugevus kuni 100 MN/m² (1000 kG/cm²). Lehelise ja orienteeritud kiulise täiteainega plastmassides ulatub see näitaja 300...950 MN/m² (3000...9500 kG/cm²). Klaasist kuni 1 μm paksuste lehekestena

kujundatud täiteaine tõstab klaasplastide tugevuse 1200 ... 1500 MN/m² (12000 ... 15000 kG/cm²). Kihilistest plastmassidest valmistatakse masinadetaile mehaanilise töötlemisega ja liimimisega (hammasrattad, laagripuksid ja -liuad, kolvirõngad, pinkide sängide juhtpinnad, pumpade klapid, hüdrauliliste rootorpumpade labad, tihendid jt.).

Kiulise täiteainega plastmassid on samuti termoreaktiivsed. Täiteainena kasutatakse puuvillatselluloosi, asbest- ja klaaskiudu, villakraasmeid. Seda liiki plastmassid jäävad oma tugevusomadustelt veidi maha kihilistest plastmassidest, kuid masinadetailide valmistamise meetodite tehnoloogilisuselt ja ökonoomsuselt ületavad neid tunduvalt. Kiulise täiteainega plastmassidest võib valmistada meelevaldse keerukusega detaile, rakendades suure tootlikkusega tavalisi või valupressimismeetodeid (rihmaseibid, nukk-kettad, tsentrifugaalpumpade tiivikud jms.) või sünteetiliste liimidega liimimist. Kõiki liike kiulisi plastmasse saab kasutada töödeldavate toorikute materjalidena. Sel juhul pressitakse lihtsustatud pressvormides ketta-, risttahuka-, silindrijms. kujuline toorik, millest on võimalik valmistada soovitud detaile mehaanilise töötlemisega.

Täiteaineta plastmassideks on kõik polümeerid. Nad on põhiliselt termoplastsed ja lubavad end mitmekordselt ümber töötada masinadetailideks. Polüvinüülkloriidist, polüstüroolist, polüetüleenist, polüpropüleenist, polümetüülmetakrülaadist masinadetaile valmistatakse pressimisega ja valumeetodil. Ekstruuderpressidel saadakse polümeeridest töödeldavad toorikud, millest saab mehaanilise töötlemisega valmistada mitmesuguseid detaile.

Gaasilise täitega plastmassidel on väike tihedus. Olenevalt tootmisprotsessis kujundatavast struktuurist jaotatakse nad vahtplastideks, poorplastideks ja kärgplastideks. Neid valmistatakse polüvinüülkloriidi, polüstürooli, epoksüvaikude ja nende modifikatsioonide baasil. Materjali mulliline struktuur moodustatakse keemiliste, füüsikaliste ja mehaaniliste meetoditega või nende kombinatsiooniga. Vaht-poorplaste rakendatakse nii detailide tootmiseks (hermetiseerivad kuplid, poleerimiskettad jms.) kui ka auto- ja lennukitööstuses amortisatsioonivahendeina.

2. TOORIKUTE TÖÖTLEMISE MEETODID

Masinadetailide vajalik kuju, mõõtmed ja pinna kvaliteet saadakse tavaliselt tooriku vastava töötlemisega.

Tänapäeva masinaehituses domineerib veel metalli eemaldamine laastudena (lõiketöötlemine); rakendatakse ka plastse deformeerimisega töötlemist, termilist ja termokeemilist töötlemist. Pinkidel töötlemise kõrval esineb ka lukksepatöö. Viimase erikaal on seeria- ja masstootmises tühine, kuid individuaal- ja väikeseeriatootmises, samuti remonditöödel rakendatakse lukksepatööd küllalt laialdaselt kokkupuutuvate masinadetailide ligisobitamiseks.

Metalltööriistadega töötlemine. Toorikuid töödeldakse mitmesuguste tööriistadega. Teradega töötlemisel esineb eel-, kooriv-, siluv- ja puhastöötlemine. Olenevalt tooriku täpsusest piirdutakse sageli ühekordse töötlemisega. Täpsed mõõtmed ja kõrge pinnasilediusklass saadakse peentöötlemisel.

Eeltöödeldakse peamiselt vabasepistamisel saadud toorikuid, mõnikord ka 3. täpsusklassi suuri valandeid. Eeltöötlemisega vähendatakse eeltooriku ruumilisi hälbeid ja kujuhälvet. Eeltöötlemisel võib saada mõõtmete täpsuseks sepistele 10. ... 11. klassi ja valandeile 9. ... 10. klass ГОСТ 2689-54 järgi.

Peale eeltöötlemist võivad toorikul esineda töötlemata kohad. Suuri toorikuid eeltöödeldakse tavaliselt neid valmistavates tehastes ja tsehhides. Sel juhul avastatakse tooriku pinnadefektid tema tootmiskohas, väheneb tooriku kaal enne selle transportimist ja pikeneb loomuliku vananemise aeg eeltöödeldud tooriku seismise tõttu.

Koorivalt töödeldakse eeltöödeldud toorikuid, kolmanda ja teise täpsusgrupi suuri stantsitud toorikuid ja 2. täpsusklassi suuri valandeid; esimesel juhul annab koorivtöötlemine 7. ... 9. täpsusklassi, teisel juhul 7. ... 5. täpsusklassi ОСТ-süsteemis. Koorivtöötlemisel saavutatav pinnakaredus on 1 ... 3. klassi piires.

Siluvalt töödeldakse juhul, kui koorivtöötlemisega pole võimalik eemaldada kogu töötlemisvaru või kui esitatakse kõrgendatud nõudeid töödeldava tooriku geomeetrilise kuju täpsuse ja tema elementide ruumiliste hälvete osas.

Siluvtöötlemisel saadakse tooriku mõõtmete täpsuseks 5. ja 4. täpsusklass, pinnakareduseks 2. ... 4. klass.

Puhastöötlemine kujutab endast lõpptöötlemist või vahepealset töötlemist enne viimistlemist (peentöötlemine, lihvimine). Olenevalt eelnenud töötlemisprotsessist saadakse puhastöötlemisel 4. ja 3.a täpsusklass ja 4. ... 6. pinnasilediusklass. Ühekordselt töödeldakse kõrget täpsust kindlustavate meetodite järgi saadud toorikud (esimese täpsusgrupi järgi stantsimisega, kokillvaluga, väljasulatatavate mudelite järgi tehtud valuga jms. viisil saadud

toorikuid). Seda tehakse töötlemata pinnalt, kuid puhastöötlemisele lähedaste režiimidega.
Olenevalt tooriku täpsusest saadakse ühekordsel töötlemisel 4. ... 7. täpsusklass ja 3. ... 5. pinnasiledusklass.
Teradega peentöötlemine on lihvimist asendav lõppviimistlustöötlemine, mis toimub suurtel lõikekiirustel väikeste lõikesügavuste (0,05 ... 0,5 mm) ja ettenihete (0,05 ... 0,15 mm/p) juures.
Peentreimisega saadakse 2.a ... 3. täpsusklass ja 7. ... 8. pinnasiledusklass.
Laiade teradega peentreimisel ja peenhööveldamisel ei võeta lõikesügavust üle 0,5 mm, ettenihe määratakse vastavalt tera laiusele (tavaliselt ei ulatu ettenihe pöördele või kaksikkäigule üle 0,8 tera laiusest).
Laiade teradega peentöötlemine annab 2.a ... 3. täpsusklassi ja 6. ... 8. pinnasiledusklassi, antud mõõtmete individuaalsel saavutamisel 1. ... 2. täpsusklassi ja 7. ... 9. pinnasiledusklassi.
Viimasel ajal kasutatakse töötlemiseks teemantterasid. Neid kasutatakse värvilistest metallidest ja sulamitest, plastmassidest ja teistest mittemetallilistest materjalidest toorikute peentreimisel. Teemantteradega töötlemisel saadakse kuni 1. täpsusklass ja 12. ... 13. pinnasiledusklass. Teemantterades kasutatakse teemantkristalle kaaluga 0,2 ... 0,6 karaati ja rohkem.
Teemantterade tehnilis-majanduslik efektiivsus on tingitud nende suurest püsivusajast, mis ületab kümneid kordi metallkeraamiliste lõikeriistade püsivusaja, ja pikemaajalisest ilma ümberhäälestuseta ja reguleerimiseta töötamise võimalusest. Viimane on eriti oluline automaatpinkidel ja automaatliinidel töötamisel.
L õ i k e r i i s t a s u n d v õ n k u m i s e g a t o i m u v l õ i k e t ö ö t l e m i n e[1] (vibratsioonlõikamine) on metallide töötlemise perspektiivne meetod.
Võnkumise tõttu katkeb lõikeprotsessis perioodiliselt lõikeriista ja töödeldava materjali vaheline kontakt; see kutsub esile adsorbtsioonikihtide ja oksiidikilede tekkimise kontaktpindades ja takistab metalli naket lõikeriista tööpindadele. Seejuures väheneb hõõrdetöö ja plastse deformatsiooni töö, mille tulemusena väheneb lõikejõud ja soojuse tekkimine lõikeprotsessis. Mõningatel juhtudel vähendavad vibratsioonid töödeldud pinna karedust ja suurendavad lõikeriista püsivusaega.
F r e e s i m i s e g a t ö ö t l e m i s e l esineb kooriv-, siluv- ja puhasfreesimine, laupfreesidega töötlemisel ka peenfreesimine; mõningatel juhtudel piirdutakse ühekordse freesimisega.
Koorivfreesimine on valandite ja sepiste eeltöötlemine, kusjuures

[1] Esimesena töötles lõikeriista lõikesuunalise võnkumisega V. L. Tatarinov 1910. a.

toorikute eeltöötlemiseks ettenähtud töötlemisvaru ületab 3 mm. Tasapindade koorivfreesimisel saadakse 2. ... 3. klassi täpsus ja sirgjoonelisuse hälve on 0,15 ... 0,3 mm 1-m pikkuse kohta. Siluvfreesimisega vähendatakse geomeetrilisi kujuhälbeid ja ruumilisi hälbeid. Siluvfreesimine annab 3. ... 4. pinnasiledusklassi ja tasapinnalisuse hälbe 0,1 ... 0,2 mm 1-m pikkuse kohta. Puhasfreesimine kujutab endast kas lõpptöötlemist peale koorivja siluvfreesimist või vahepealset töötlemist peale koorivfreesimist ja enne järgnevat viimistlustöötlemist. Puhasfreesimisega saadakse 4. ... 6. pinnasiledusklass ja tasapinnalisuse hälve 0,04 ... 0,08 mm 1-m pikkuse kohta.

Peenfreesimine toimub laupfreesidega ja seda kasutatakse tasapindade lõpptöötlemiseks. Peenfreesimise töötlemisvaru võetakse piires 0,2 ... 1 mm. Peenfreesimine annab 6. ... 8. pinnasiledusklassi ja tasapinnalisuse hälbe 0,02 ... 0,04 mm 1-m pikkuse kohta.

Ühekordset freesimist rakendatakse neil juhtudel, kui töötlemata tooriku hälbed tingivad väikese töötlemisvaru (alla 2 mm). Ühekordse freesimisega saadakse 4. ... 5. pinnasiledusklass ja tasapinnalisuse hälve 0,06 ... 0,1 mm 1-m pikkuse kohta. Kiirfreesimise lõikerežiimid annavad koorivfreesimisel 3. ... 5., siluvfreesimisel 4. ... 6. ja puhasfreesimisel 5. ... 7. pinnasiledusklassi.

P u u r i m i s e g a t ö ö d e l d a k s e avasid täismaterjalisse, kusjuures saadakse 5. ... 4. täpsusklass ja 5. ... 3. pinnasiledusklass. Puurimist rakendatakse täpsete avade eeltöötlemiseks. Vähetäpsete avade töötlemisel piirdutakse sageli üksnes puurimisega.

A v a r d a t a k s e kas peale puurimist või töötlemata toorikute valatud või sepistatud avade esmaseks töötlemiseks. Esimesel juhul eemaldab avardi põhilise osa töötlemisvarust ja vähendab puuritud ava hälbeid, nimelt puuri telje kõrvalekaldumist ja koordinaatidega määratud avade telgede nihet. See saavutatakse avardi suunamisega läbi konduktorpuksi. Teisel juhul annab avardi töödeldavale avale õige kuju ja õgvendab ava telge. Töötlemata toorikute valatud või sepistatud avade avardamisel saadakse 5. täpsusklass ja 3. pinnasiledusklass. Puuritud ava avardamisel saadakse 4. täpsusklass ja 4. pinnasiledusklass. Ühekordne hallmalmist valandite valatud avade kiiravardamine annab jahutusega töötlemisel 4. täpsusklassi ja 4. ... 5. pinnasiledusklassi. H õ õ r i t s e m i s t kasutatakse tavaliselt lõpptöötlemismeetodina või hoonimisele eelneva töötlemisena. Hõõritsemine ei vähenda ava telje kõrvalekaldumist ega nihet; hõõritsemisega saadakse täpne läbimõõt.

Vastavalt töödeldavale avale esitatud nõudeile rakendatakse normaal-, täppis- või peenhõõritsemist. Need hõõritsemisliigid erinevad peamiselt hõõritsate läbimõõdu tolerantside poolest.
Normaalhõõritsemine annab 3. ... 3.a täpsusklassi ja 6. pinnasiledusklassi (hõõritsa läbimõõt vastab 2.a klassi täpsusele); täppishõõritsemine annab 2.a klassi täpsuse ja 7. pinnasiledusklassi (hõõritsa läbimõõt vastab 2. täpsusklassile); peenhõõritsemine tagab 1. ... 2. täpsusklassi ja 8. pinnasiledusklassi (hõõritsa läbimõõdu tolerants võetakse 0,6 osa 1. täpsusklassi tolerantsist). 25...500-mm läbimõõduga avade lõpptöötlemiseks 1. ... 2. täpsusklassi järgi hõõritsetakse ujuvate plaatidega. Ujuvad plaadid ei õgvenda ega muuda ava telje asendit, mis peab olema täpne juba eelnevast töötlemisest.
K a m m l õ i k a m i s t kasutatakse meelevaldse ristlõikega avade ja soonte, tasa- ja kõverpindade ning väliste pöördpindade töötlemiseks. Kammlõikamine võimaldab töötlemist lihtsustada, kuna paljudel juhtudel üks kammlõikur asendab mitut lõikeriista (näiteks avardit või sisetera ja hõõritsat, kooriv- ja puhastöötlemise freese jms.).
Kammlõikamine annab 2.a ... 3.a täpsusklassi ja 5. ... 7. pinnasiledusklassi. Survekammlõikuritega[1] töötlemist rakendatakse meelevaldse ristlõikega lühikeste avade lõpptöötlemisel. Saadakse 2. ja kõrgem täpsusklass ning 7. ... 8. pinnasiledusklass.
Abrasiivlõikeriistadega töötlemine. Abrasiivlõiketöötlemismeetodeid on mitmeid. Lihvimist kasutatakse lõpptöötlemisena. Ühekordse eellihvimisega saavutatakse lähtepindade tasapinnalisus, enamasti sealjuures kujunevale mõõtmele tähelepanu pööramata. Eellihvimisel kasutatavate lihvkäiade teralisus on 80 ... 125, harvem 50 ... 80; saavutatav pinnakaredus — 5. ... 6. klass. Määratud lõikeservaga lõikeriistadega töötlemisele järgneval koorivlihvimisel lihvitakse käia silinderpinnaga või kausskäia otspinnaga. Esimesel juhul kasutatakse lihvkettaid teralisusega 40 ... 50, teisel juhul — 50 ... 80 (terasele ja malmile). Puhaslihvimisel kasutatavate käiade teralisus on 12 ... 40 ja peenlihvimisel 6 ... 10.
Käia silinderpinnaga tehtaval tasalihvimisel saadakse koorivtöötlemisel 5. ... 6., puhaslihvimisel 7. ... 8. ja peenlihvimisel 8. ... 9. pinnasiledusklass. Tasapindade kiirlihvimisel käia silinderpinnaga väheneb pinnakaredus ühe klassi võrra. Tasalihvimine kausskäia otspinnaga annab koorivlihvimisel 5. ... 7. ja puhaslihvimisel 7. ... 8. pinnasiledusklassi.
Välispöördpindu töödeldakse kooriv-, puhas- ja peenlihvimisega.

[1] Survekammlõikuriks nimetatakse läbi ava tõugatavat ja survele töötavat lühikest kammlõikurit.

Koorivlihvimine annab 3.a ... 3. täpsusklassi ja 5. ... 7. pinnasiledusklassi, puhaslihvimine 2.a ... 2. täpsusklassi ja 7. ... 8. pinnasiledusklassi, peenlihvimine aga 2. ja 1. täpsusklassi ning 8. ... 10. pinnasiledusklassi.

Ühekordset välispöördpindade lihvimist kasutatakse peale treimist termiliselt mittetöödeldud toorikuile 3. ja 2.a täpsusklassi ning 6. ... 8. pinnasiledusklassi saavutamiseks.

Avade töötlemisel kasutatakse kooriv- ja puhas- või ka ühekordset lihvimist. Koorivlihvimine annab 3.a ... 3. täpsusklassi ja 5. ... 7. pinnasiledusklassi. Puhaslihvimisel ja ühekordsel lihvimisel saadakse 3. ... 2.a täpsusklass ja 7. ... 8. pinnasiledusklass.

Peenlihvimist avade töötlemisel ei kasutata. Kui nõutakse ava kõrgendatud täpsust ja vähendatud pinnakaredust, siis kasutatakse käiadega lihvimise asemel teisi määratud lõikeservaga lõikeriistadega või abrasiivlõikeriistadega töötlemise meetodeid, sageli peentreimist, hõõritsemist ja hoonimist.

T e e m a n t k ä i a d e g a t ö ö t l e m i n e. Teemantkäiad koosnevad korpusest ja teemanti sisaldavast vööst, mis omakorda koosneb teemandist ja sideainest (metalliline või orgaaniline). Teemantkäiasid valmistatakse 25, 50 ja 100% kontsentratsiooniga. Käia kontsentratsioon määratakse teemandisisaldusega milligrammides teemanti sisaldava vöö 1 mm^3 kohta. 100%-liseks kontsentratsiooniks loetakse 0,878 mG ehk 0,00439 karaati teemanti 1 mm^3 kohta.

Teralisus valitakse töödeldava pinna karedusele esitatavate nõuete järgi. Jämedateralisema käiaga lihvimisel (näiteks teralisusega A50, võrreldes teralisusega AM10) väheneb käia erikulu ja suureneb tootlikkus.

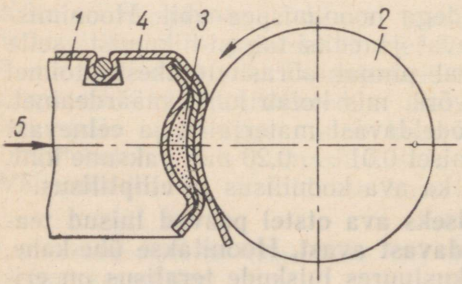
Metallsideainega käiasid soovitatakse kõvade metallkeraamiliste toorikute, klaasi ja keraamika koorivlihvimisel, orgaanilise sideainega käiasid aga ülikõvadest ja habrastest materjalidest detailide viimistlemisel.

Lihvimine toimub pideva jahutusvedeliku pealejuhtimisega. Jahutusvedeliku kulu on 1 ... 2 l/min. Teemantkäiade kasutamise majanduslik efekt on 15 ... 20 rbl. ühe karaadi teemandi kohta.

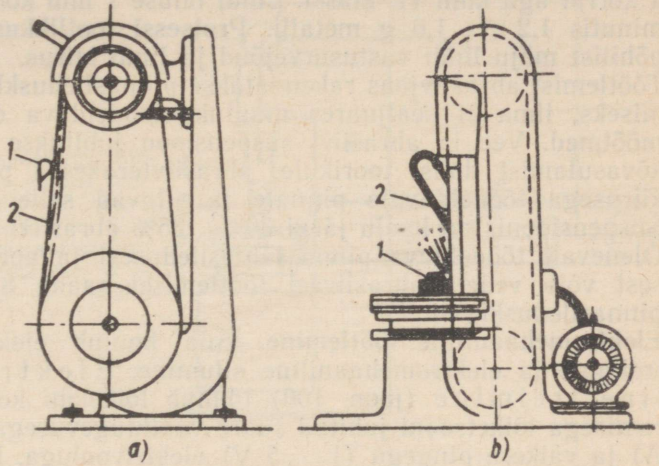
H o o n i t a k s e erilise luiskudega hoonimispea abil. Hoonimispea sooritab üheaegselt pöörlevat ja edasi-tagasi-liikumist; selle tulemusena kujuneb töödeldaval pinnal abrasiivterakeste toimel mittesügavate joonekeste kaldvõrk, mis hoiab hästi määrdeainet. Olenevalt ava läbimõõdust, töödeldavast materjalist ja eelnevast töötlemisest eraldatakse hoonimisel 0,01 ... 0,20 mm paksune kiht. Nendes piirides likvideeritakse ka ava koonilisus ja elliptilisus.

Läbimõõdu vähenemise vältimiseks ava otstel peavad luisud teatava osa võrra väljuma töödeldavast avast. Hoonitakse ühe-kahe, mõnikord ka kolme läbimiga, kusjuures luiskude teralisus on eri-

nev: koorivhoonimisel rakendatakse teralisust 4 ... 8, puhashoonimisel — teralisust 3.
Jahutus-määrdevedelikuna kasutatakse petrooleumi või petrooleumi ja masinaõli (10 ... 20%) segu.
Hoonimisel saadakse töötlemise täpsuseks 5 ... 20 μm ja 8. ... 10. pinnasilediusklass. Seda rakendatakse täpsete ja kõrge pinnasilediusklassiga avade töötlemisel.
Superfiniš toimub samuti abrasiivluiskudega varustatud eriliste peadega ja seda võib kasutada nii välis- ja sisepöördpindade kui ka tasapindade töötlemiseks. Töötlemisprotsessis kasutatakse luiskusid teralisusega 3.
Superfinišprotsessiga väheneb vaid pinnakaredus 9. ... 12. pinnasilediusklassini, kusjuures ei vähene eelneva töötlemise hälbed. Kasutatakse jahutus-määrdevedelikku (petrooleumi ja 10 ... 15% värtnaõli segu), mistõttu luisud puudutavad ainult mikrokonaruste harju kohtades, kus õlikile katkeb. Töödeldava pinna teatud siledusastme saavutamisel lakkab protsess automaatselt, sest siis õlikile enam ei katke ja puudub luisu ning töödeldava pinna vahetu kontakti võimalus.
Ultrafiniš (joon. 98) võimaldab saada väga väikese pinnakaredusega (0,007 ... 0,012 μm) ja hea makrogeomeetriaga pindu. Ultrafinišprotsess toimub pehme plankuriga, mis toetub tooriku pinnale 12 ... 15° haardenurga ulatuses ja nihkub selle pinna suhtes. Töödeldakse kiirusega 100 ... 180 m/min. Kasutatakse vedelikku ja plankimismaterjali. Ultrafinišprotsessiga võib töödelda nii pehmetest kui ka kõvadest metallidest toorikuid.
Plankimisel (lapingprotsessiga töötlemine) saavutatakse kõrge töötlemistäpsus (kuni 0,1 μm) ja 10. ... 14. pinnasilediusklass. Tööriistana kasutatakse plankurit, mis valmistatakse tavaliselt pehmemast materjalist kui töödeldav toorik.
Plangitakse abrasiivpulbrite ja -pastadega.
Eelplankimisega eemaldatakse töötlemisvaru tooriku kujuhälbest vabanemiseks, lõpp-plankimisega vähendatakse pinnakaredust.



Joon. 98. Ultrafinišprotsessi skeem pöördpindade töötlemisel: *1* — plankuri korpus; *2* — toorik; *3* — pigi või kivisöetõrv õlikindla leelislakiga kaetud presendist ümbrises; *4* — vahetatav karvane poleerriie; *5* — vastusurumisjõud



Joon. 99. Abrasiivlindiga lihvimine: *a* — vabalt pingutatud lindiga lihvimine; *b* — tugiplaadile toetatud lindiga lihvimine; *1* — toorik; *2* — abrasiivlint

Eel- ja lõpp-plankimist tehakse erinevate plankuritega, sest vana abrasiivi eemaldamine plankurilt on raskendatud.

Poleerimisega vähendatakse töödeldava pinna karedust. Poleeritakse kiiresti liikuva ja pehmete abrasiividega küllastatud abrasiivlindiga või pehme poleerkettaga (vildist, bjassist), millele on kantud poleerpasta. Poleerimisega saadakse 10. ... 12. pinnasilediusklass, peenpoleerimisega ka kõrgemad pinnasilediusklassid.

Plankimis- ja poleerpastadega pinnatöötlemine tugineb tööriista (plankur või pehme poleerketas) mehaanilisele toimele ja pastades leiduvate pindaktiivsete ainete samaaegsele keemilisele toimele. Erinevalt plankimisest ei suurenda poleerimine töötlemise täpsust.

Viimasel ajal kasutatakse laialdaselt abrasiivterade ja -pulbritega kaetud lintidega lihvimist ja poleerimist. Seda meetodit rakendatakse mitte ainult metallide, vaid ka mittemetalsete materjalide (klaas, portselan jms.) töötlemiseks. Lihvitakse kas vabalt pingutatud lindiga või lindi toetamisega töötlemiskohal liikumatule või liikuvale toele (joon. 99). Seda meetodit rakendatakse kujudetailide, lattide, torude jms. pinna viimistlemiseks.

Lindi tööpind ületab tunduvalt käia tööpinna, seetõttu hajub lihvimisel tekkiv soojus lindiga töötlemisel rohkem. Lintide valmistamisel kasutatava abrasiivi teralisus on 3 ... 80. Teralisuse 10 ... 16 juures võib saada kuni 9. pinnasilediusklassi, teralisuse

4 korral aga kuni 11. klassi. Lindi laiuse 1 mm kohta eraldatakse minutis 1,2 ... 1,6 g metalli. Protsessi tootlikkusele avaldavad põhilist mõju lindi vastusurvejõud ja lindi kiirus.

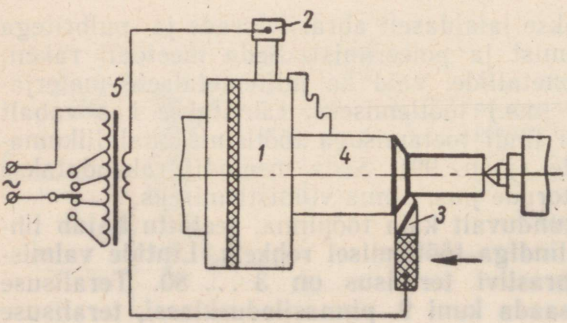
Töötlemist abrasiivjoas rakendatakse pinnasiledusklassi kõrgendamiseks, ilma et sealjuures muutuks töödeldava detaili kuju ja mõõtmed. Vee ja abrasiivi suspensioon juhitakse surve all läbi kõvasulamist düüsi toorikule; abrasiivterakesed põrkuvad suure kiirusega töödeldavale pinnale ja siluvad selle mikrokonarusi. Suspensioonis on kaalu järgi 30 ... 35% abrasiivi.

Olenevalt töödeldava pinna lähtesiledusest ja abrasiivi teralisusest võib vedelik-abrasiivsel töötlemisel saada 8. või kõrgema pinnasiledusklassi.

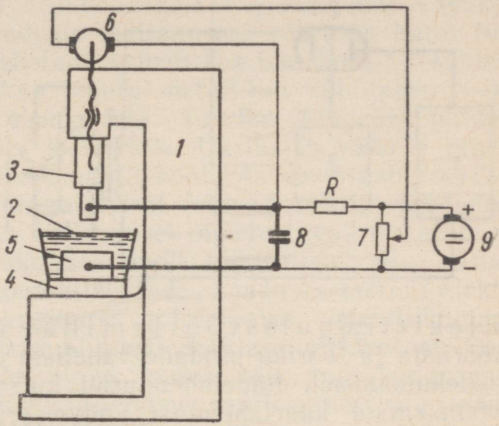
Elektromehaaniline töötlemine. Siia kuulub elektromehaaniline treimine ja elektromehaaniline silumine. Elektromehaaniline treimine (joon. 100) toimub lõikekihi kohaliku kuumutamisega lõiketsooni juhitud suure voolutugevusega (300 ... 1000 A) ja väikese pingega (1 ... 5 V) elektrivooluga. Kuumutus haarab tera lõikeserva ees olevat ala, mis vähendab lõikejõudu ja mõjub soodsalt töödeldud pinna kareduse vähenemisele.

Elektromehaaniline silumine põhineb elektrivooluga ettekuumutatud pinna mikrokonaruste deformatsioonil. Tööriistana rakendatakse rulli või poleerliugurit. Töötlemisel saadakse 9. pinnasiledusklass. Soojusliku toime (tööriista ja tooriku kontakttsooni temperatuur ulatub 800 ... 900° C) ja survejõu koosmõju muudab pinnakihi struktuuri ja mehaanikalisi omadusi, suurendades kõvadust ja kulumiskindlust. Tooriku pinnakihi kõvaduse suurenemine ulatub 0,10 ... 0,15 mm sügavuseni.

Elektrierosioontöötlemine. Masinaehituses on viimasel ajal võetud kasutusele uued tugevad raskesti töödeldavad konstruktsioonimaterjalid, mis võivad töötada rasketes tingimustes ja kõrgendatud temperatuuridel. Nende materjalide kasutamine on seotud õige suurte tehnoloogiliste raskustega.



Joon. 100. Elektromehaanilise treimise skeem: *1* — padrun; *2* — voolu juurdejuhtiv liugur; *3* — tera; *4* — toorik; *5* — transformaator



Joon. 101. Elektrisädemega töötlemise skeem: *1* — korpus; *2* — vann vedelikuga; *3* — toend; *4* — plaat; *5* — toorik; *6* — tööriista ettenihke automaatregulaator; *7* — reostaat; *8* — kondensaatorid; *9* — impulssgeneraator

Sellepärast on tekkinud terav vajadus metallide uute efektiivsete töötlemismeetodite järele. Selle ülesande peavad lahendama teadlased ja otseselt tootmisega tegelevad töötajad. Üheks niisuguseks uueks meetodiks on elektrilaengutega töötlemine, mida nimetatakse elektrierosioontöötlemiseks.

Praegusel ajal on levinud neli elektrierosioontöötlemise liiki: elektrisädemega, impulss-kaar- ehk elektriimpulss, anoodmehaaniline ja elektrokontakttöötlemine.

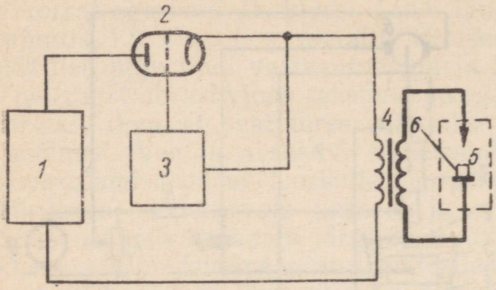
Elektrisädemega töötlemine[1] põhineb lühiajaliste, osalt kaarlahenduseks üleminevate sädelahenduste kasutamisel. Säde- ja kaarlahenduste saamiseks kasutatakse elektriimpulssgeneraatorit. Elektrisädemega töötlemise skeem on kujutatud joonisel 101. Järgivsüsteemiga sidestatud töödeldav toorik (+) ja tööriist-elektrood (—) asetatakse dielektrilisse vedelikku. Vedelikku sattunud sulanud ja aurustunud metalliosakesed tarduvad kiiresti mikroskoopilisteks kuulikesteks. Vedelik takistab sädelahenduse mõjutsooni laienemist, mis soodustab lahendamisel eralduva soojusenergia kontsentreerumist väikesele pinnaosale.

See meetod on lihtne, kuid vähetootlik, sest sädelahendustevaheline ajaintervall ületab 8 .. 10 korda lahenduse kestuse. Sädelahendustel esinev kõrge temperatuur (ulatub 10 000° C) põhjustab tööriist-elektroodide kulumist.

Need puudused ei oma olulist tähtsust, kui meetodit rakendatakse väikeste pindade töötlemiseks ja kui tööriista kulumine pole määrav.

---

[1] Elektrisädemega töötlemise töötasid välja B. R. Lazarenko ja N. I. Lazarenko 1943. a. ja see meetod sai järgnevatel aastatel laialdaselt tuntuks.



Joon. 102. Elektriimpulsstöötlemise skeem: *1* — kõrgepingealalisvooluallikas; *2* — elektronlamp; *3* — juhtimisplokk; *4* — impulsstransformaator; *5* — elektroodide vahe; *6* — toorik

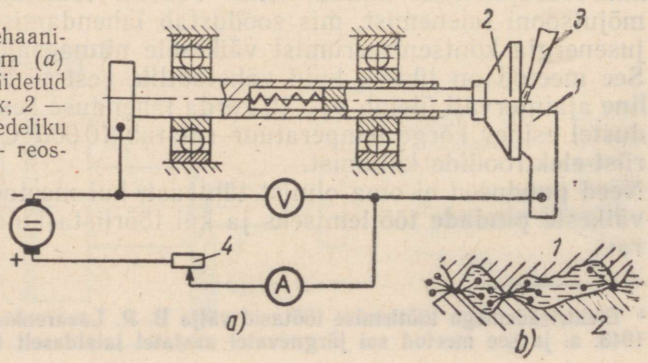
Elektriimpulsstöötlemine[1] (joon. 102) põhineb samuti tööriista ja tooriku pindade vaheliste järjestikuste sädelahenduste esilekutsumisel. Sädelahendused kutsutakse esile kestvamaid ja võimsamaid kaarlahendusi andva erigeneraatori pingeimpulssidega. Sädelahendustel esinev madalam temperatuur (kuni 4000 ... ... 5000° C) vähendab tööriista kulumist.

Võimsuse suurenemine ja selle parem ärakasutamine võimaldas tõsta protsessi tootlikkust kümneid kordi ja rakendada seda suurte toorikute töötlemisel.

Terase töötlemisel on saavutatud maksimaalseks metalli eraldamiseks 15 cm^3/min.

Selle meetodiga saab töödelda keerukaid kujupindu 0,03 ... 0,05 mm täpsusega ja avasid 0,01 ... 0,02 mm täpsusega. Pinna kvaliteet oleneb töörežiimist. Eeltöötlemisrežiimiga töötlemisel (400 impulssi/s) saavutatakse suur tootlikkus, kuid ebatasasuste kõrgus on 0,3 ... 1,5 mm ja muutunud omadustega pinnakihi paksus 0,2 ... 0,4 mm; puhastöötlemisrežiimil (2500 impulssi/s) ei ületa ebatasasuste kõrgus 0,002 ... 0,004 mm.

[1] See meetod töötati välja meie maal viiekümnendatel aastatel elektrisädemega töötlemise meetodi täiustamise tulemusena.



Joon. 103. Anoodmehaanilise töötlemise skeem (*a*) ja töövedelikuga täidetud pilu (*b*): *1* — toorik; *2* — tööriist; *3* — töövedeliku etteande düüs; *4* — reostaat

Anoodmehaanilisel töötlemisel[1] (joon. 103) kasutatakse lühiajaliste sädelahenduste tekitamiseks tööriista kiiret liikumist tooriku suhtes. Tööriistana esineb kas tooriku (+) suhtes pöörlev metallketas või liikuv lõputu metall-lint või -traat (—). Töötlemistsooni juhitakse elektrolüüti. Tooriku (anoodi) pinnal moodustub voolu mittejuhtiv isoleerkile. Üksikutes väikese pindalaga tooriku ja tööriista kokkupuutekohtades eemaldab tööriist isoleerkile. Küllalt kõrge pinge korral tekivad nendes kohtades lühiajalised kaarlahendused. Lahendusel moodustuvad metalliosakesed paisatakse liikuva tööriista poolt töötlemistsoonist välja. Peale erosioontoime võib kontaktikohtades saada ka metalli elektrokeemilise lahustumise, kusjuures minimaalse metallikoguse eemaldamisega saadakse kõrge pinnasilediusklass; elektrokeemiline lahustumine toimub madala pinge juures, mis pole küllaldane kaarlahenduse esilekutsumiseks. Anoodmehaanilise meetodiga võib lõigata valtsmaterjali, töödelda kujusoont jms.

Elektrokontaktmeetodil töötlemisel kasutatakse lühiajaliste sädelahenduste tekitamiseks samuti tööriista kiiret nihkumist töödeldava tooriku suhtes. Elektrolüüti selle meetodi juures ei kasutata ja protsess toimub enamasti õhukeskkonnas. Tööriista ja tooriku suhtelise liikumise kiirus on 2,5 ... 3 korda suurem kui anoodmehaanilisel meetodil.

Elektrokontaktmeetod võimaldab koondada töötlemiskohale väga suuri võimsusi (sajad kilovatid) ja saada kuni 500 kg/h ja suuremat metallieraldamist. Ent selle meetodi juures jääb tooriku pinnale sulanud metalli kiht, mille paksus võib ulatuda 1 ... 1,5 mm. Ettenähtud pinnasileduse saamiseks ja muutunud omadustega kihi eemaldamiseks tuleb toorikuid hiljem täiendavalt töödelda.

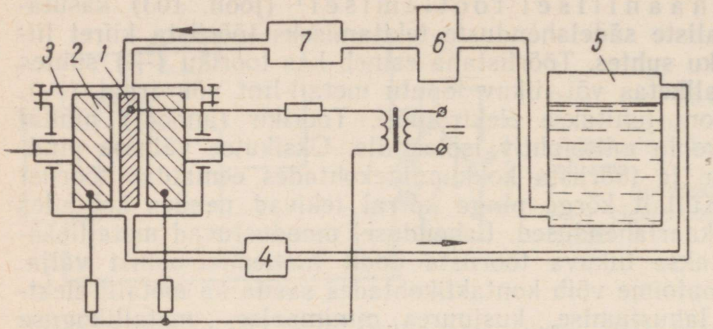
Elektrohüdrauliline (elektrokeemiline) töötlemine põhineb metalli anoodlahustamisel ja elektrolüüdi läbipumpamisel tooriku ja elektroodide vahelt (joon. 104). Seda meetodit iseloomustab 12 ... 25 V alalisvoolu kasutamine, elektrolüüdi odavus (keedusoola vesilahus), elektroodide kulumatus ning tooriku mõõtmetest ja materjalist mitteolenev suur tootlikkus.

Elektrohüdrauliline töötlemine võimaldab saada keerukate toorikute töötlemisel 0,1 mm täpsuse 0,005 ... 0,05 mm sügavusega muutunud omadustega kihi juures ja 6. ... 7. pinnasilediusklassi.

Elektrolüüdi läbipumpamisega välditakse metalli sadestumist tööriistale-katoodile. Seepärast võib tööriist väga kaua töötada, muutmata sealjuures oma kuju ja mõõtmeid.

Elektroabrasiivtöötlemine põhineb kõva metalli elektrokeemilisel lahustamisel samaaegse laguproduktide mehaanilise eemaldami-

[1] Meetodi töötas välja V. N. Gussev 1943. a.



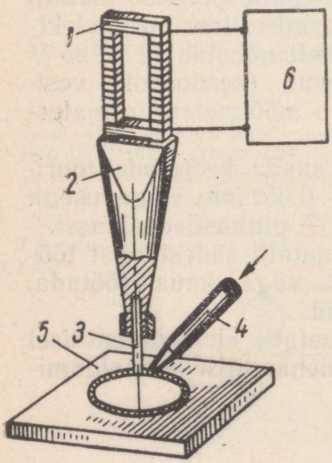
Joon. 104. Elektrohüdraulilise töötlemise põhimõtteline skeem: *1* — töödeldav toorik; *2* — elektroodid-tööriistad; *3* — töökamber; *4* — tsentrifuug; *5* — paak elektrolüüdiga; *6* — soojusvahendaja; *7* — pump

sega töötlemistsoonist. See meetod erineb anoodmehaanilisest töötlemisest selle poolest, et kasutatakse vaid üht tööriista — elektrit juhtivat abrasiivketast [1], mis on üheaegselt nii katoodiks kui ka anoodkilet eemaldavaks tööriistaks.

Elektroabrasiivtöötlemine võimaldab saada kõvasulamist toorikute töötlemisel 11. ... 12. pinnasilediusklassile vastavat peegelläikega pinda. Tootlikkus ulatub 20 ... 25 mm³/min.

Ultraheliga töötlemine. Ultraheliga töötlemisel liigub teatud sagedusega ja amplituudiga vibreeriv tööriist risti töödeldava pin-

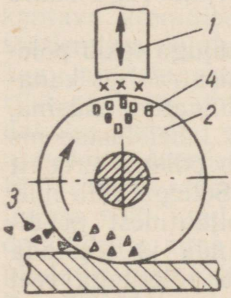
[1] Abrasiivkettad valmistatakse elektrokorundist, bakeliitsideainest ja grafiittäiteainest, mis annab vajaliku elektrijuhtivuse.



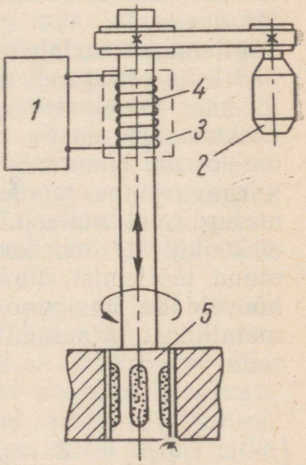
Joon. 105. Ultraheliga töötlemise skeem: *1* — magnetostriktor; *2* — kontsentraator; *3* — tööriist; *4* — abrasiivsuspensiooni etteande düüs; *5* — toorik; *6* — ultraheligeneraator

naga (joon. 105). Töötlemistsooni juhitakse abrasiivsuspensioon. Ultrahelivõnkumised tekitavad vedelikus kavitatsioonimullikesi, mille kokkulangemisel tekkiv hüdrauliline löök purustab kõvu ja hapraid materjale. Abrasiivi juuresolek kiirendab materjali purustamist. Purustatud materjal eemaldatakse töötlemistsoonist koos ringleva abrasiivsuspensiooniga. Tööriist tungib töödeldavasse toorikusse ja moodustab selles vastava kuju ja mõõtmetega ava.

Joonisel 106 on näidatud ultraheliga lihvimise põhimõte. Lihvketta kohale asetatakse 0,13 mm lõtkuga vibreeriv tööriist, mis tekitab jahutusvedeliku ultrahelivõnkumise. Selle meetodi põhiline paremus seisneb lõiketsooni temperatuuri tunduvas alandamises [1], mis tekib võnkumisest ja jahutusvedeliku tungimisest lihvketta pooridesse. Selle tulemusena ei sula eemaldatava metalli osakesed abrasiivteradega kokku.



Joon. 106. Ultraheli rakendamisega lihvimise skeem: *1* — vibreeriv tööriist; *2* — käi; *3* — metalliosakesed; *4* — abrasiivosakesed



Joon. 107. Ultraheli-hoonimispingi skeem: *1* — ultraheligeneraator; *2* — elektrimootor; *3* — magnetostriktori korpus; *4* — mähis; *5* — hoonimispea

Joonisel 107 on toodud ultraheliga hoonimise skeem. Ultraheliga hoonimisel saadakse minimaalne luiskude surve töödeldavale pinnale ja väheneb luiskude ummistumine, kuna neilt eemaldatakse mahatöödeldud metalliosakesed. See võimaldab saada kõrge pinnakvaliteedi.

Ultraheliga töötlemiseks kasutatakse pinke sageduse diapasooniga 15 . . . 30 kHz ja võnkeamplituudiga suurusjärgus 0,05 mm. Võnkeamplituudi suurendamiseks rakendatakse kondensaatoreid. Pinkide väljundvõimsus on 0,2 . . . 10 kW.

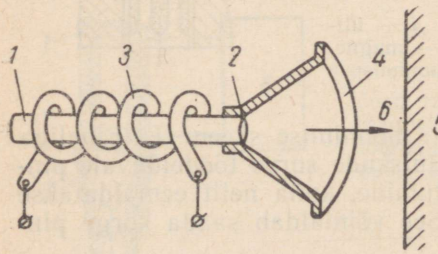
[1] Lõiketsooni temperatuur on umbes 200° C võrra madalam harilikul lihvimisel esinevast temperatuurist.

Ultraheliga töödeldakse kõige keerukama ristlõikega kõvadest ja habrastest materjalidest (tantaal, germaanium, molübdeen, teemant, klaas, portselan jms.) toorikuid. Sealjuures saadakse 1. ... 2. täpsusklass ja 10. ... 12. pinnasiledusklass.

Voolu juhtivate metallide töötlemisprotsessi tootlikkuse tõstmiseks on viimasel ajal soovitatud kombineeritud meetodit, mille juures rakendatakse ultraheliga töötlemist koos anoodlahustamisega.

Metalle töödeldakse elektronkiirega vaakuumis seadmetel, mis võimaldavad saada töödeldava tooriku suunalise kontsentreeritud elektronvoo. Elektronvoo suunda korrigeeritakse elektromagnetiliste mähistega ja voog koondatakse fookusesse elektromagnetilise läätsega. Töötemperatuur ulatub 6000° C, mis tekitab metalli aurustumise, kusjuures toorikusse moodustub 0,001-mm läbimõõduga ava või sirgete servadega kuni 0,04 mm laiune pilu. See meetod võimaldab töödelda mitmesuguseid materjale väga suure täpsusega.

Töötlemine kaarlahenduslikus plasmajoas. Plasmajuga tekib põletis [1] kahe elektroodi vahelises kitsas elektriliselt neutraalses kanalis kaarlahenduse toimel. Üks elektrood on kujundatud düüsina. Elektrikaare samba suunas juhitakse gaas, mis lahendustsoonis ioniseerub, omandab plasma omadused ja väljub põletist eredalt kiirgava joana, temperatuuriga umbes 15000° C. Sellega võib mitmesugustest materjalidest (elektrijuhtidest, pooljuhtidest ja dielektrikutest) toorikuid lõigata, katta nende pinda ja teostada muud töötlemist. Peale tükeldamislõikamise võib põletitega veel hööveldada tasapindu ning roostevabast terasest või teistest metallidest ja sulamitest lehtede servi keevitamiseks ette valmistada.



Joon. 108. Optilise kvantgeneraatori (laseri) skeem: *1* — aktiivaine; *2* — ruumresonaator; *3* — ergutusmähis; *4* — optiline seade; *5* — toorik; *6* — laseri kiir

Kvantgeneraatoritega (laseritega) töötlemine. Optiline kvantgeneraator (laser) [2] koosneb (joon. 108) aktiivainest, kahe poolläbipaistva peegliga ruumresonaatorist, ergutusmähisest ja toitealli-

[1] Põletid on välja töötatud NSVL TA Metallurgia Instituudis.
[2] Esimene optiline kvantgeneraator (laser) konstrueeriti 1959. a.

kast. Esimeses generaatoris oli aktiivaineks kroomi lisandiga sünteetiline rubiin (Al_2O_3). Käesoleval ajal kasutatakse laserites aktiivainena tahkeid kehi (rubiin, safiir jt.), vedelikke ja gaase (heelium, argoon, neoon jt.).

Laserid kiirgavad välja kõrge monokromaatilisusega [1] koherentse [2] valguse suunatud kiirtekimbu. Sel kiirtekimbul on väga suur eredus ja õige suur kiirgusvõimsus. Laseri valguskiir on 10^{12} korda eredam päikesekiirest. Laseri optilise seadmega fokuseeritud kiire energiatihedus ulatub 10^{16} W/m^2. Sellise energiatihedusega kiir aurustab metallid silmapilkselt. Laseri kiirt võib selle teele asetatud väikese optilise seadmega nii fokuseerida, et kiirtekimbu ristlõike läbimõõt on mõni mikromeeter.

Keemiline ja elektrokeemiline töötlemine. Keemilise ja elektrokeemilise töötlemise meetoditena tuntakse freesimist ja poleerimist.

Keemiline ja elektrokeemiline freesimine seisneb tooriku pinnale kantava keemiliselt inertse kihi kasutamises, mis jätab vabaks töötlemisele kuuluvad pinnaosad. Sageli kantakse kaitsekiht algul kogu pinnale, seejärel eemaldatakse nõelaga või mõne muu tööriistaga kaitsekiht töötlemisele kuuluvatelt aladelt. Metall eemaldatakse hapete või leelistega söövitamisega. Peale söövitamist asetatakse toorik kaitsekihi eemaldamiseks vastavasse lahustisse. Elektrivoolu rakendamisel tõuseb protsessi intensiivsus. Selle meetodiga võib saada süvendeid või läbiavasid õhukeseseinalistesse detailidesse, ilma et oleks karta nende deformeerumist. Töödeldud pindadel pole töötlemisjälgi ega kalestunud kihti.

K e e m i l i n e j a e l e k t r o k e e m i l i n e p o l e e r i m i n e on metallide uus dekoratiivviimistlusmeetod [3]. Töötlemisel tekib metalli pinnale õhuke oksiidikile. Viimase paksus on ebaühtlane: mikrokonaruste harjadel on see õhem, süvendites paksem. Seepärast lahustuvad mikrokonaruste harjad ülejäänud aladest kiiremini. Sellele aitab kaasa ka metalli ja lahuse reageerimisel tekkiv sitke soolakiht, mis jääb peatuma pinna mikrokonaruste süvendites. Nende protsesside tulemusena silenduvad väikseimadki pinnakonarused.

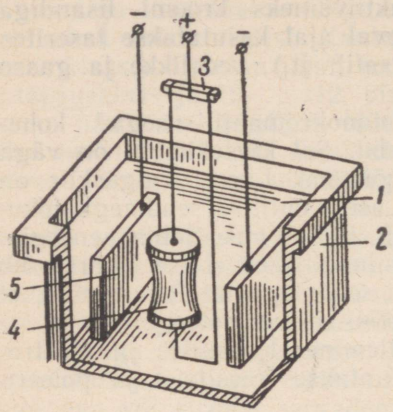
Elektrokeemilisel poleerimisel (joon. 109) on töödeldav toorik anoodiks. Saadakse väga sile, peaaegu peegelläikega pind. Võib töödelda üheaegselt suurt hulka erineva kuju ja suurusega toorikuid, mida ei ole võimalik teha ketastega poleerimisel.

---

[1] Monokromaatilisus — ühevärvilisus.

[2] Koherentsuseks nimetatakse mitme juhusliku protsessi koordineeritud kulgemist ajas ja ruumis.

[3] Esimesi töid elektrokeemilise poleerimise alal tegi J. I. Špitalski 1910. a.; keemilist poleerimist tuntakse suhteliselt lühikest aega.



Joon. 109. Elektrokeemilise poleerimise skeem: *1* — elektrolüüt; *2* — vann; *3* — toitevooluallikas; *4* — töödeldav toorik (anood); *5* — katoodid

Metallieemaldamiseta töötlemine. Metallieemaldamiseta töötlemist kui kõrge tootlikkusega viimistlustöötlemisviisi kasutatakse masinaehituses järjest laialdasemalt.

Laastueemaldamiseta töötlemise meetoditeks on termiline ja termokeemiline töötlemine, töötlemine pinnakihi plastse deformeerimisega (välispindade rullidega rullimine, avade kalibreerimine kuuliga, keermerullimine, hammaste rullimine jms.), haavlijoaga töötlemine.

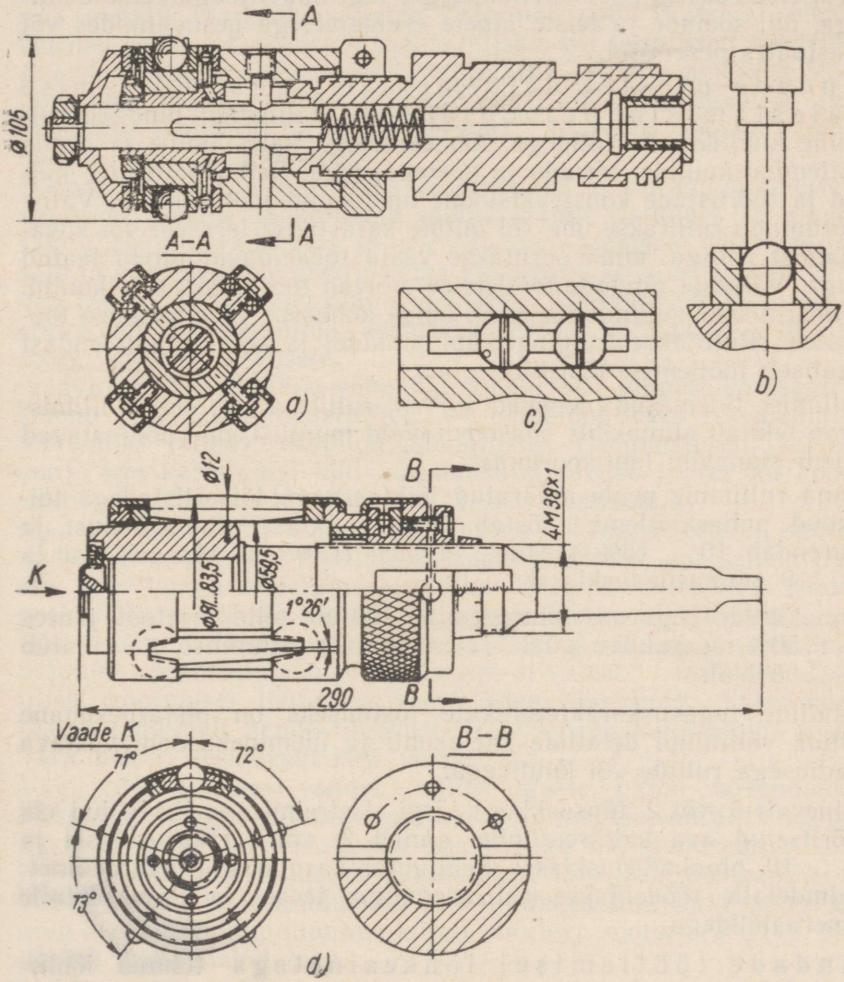
Termilise ja termokeemilise töötlemisega muudetakse detailide tehnoloogilisi ja ekspluatatsioonilisi karakteristikuid määravaid füüsikalis-mehaanikalisi ja füüsikalis-keemilisi omadusi. Termilisel töötlemisel (lõõmutamine, normaliseerimine, karastamine ja noolutamine, parendamine, vanandamine) esineva struktuurilise, faasilise ja pingeoleku muutuse tagajärjel parenevad metalli omadused. Termokeemilistel protsessidel toimub detailide pinnakihtide difusioonküllastamine mitmesuguste elementidega, kusjuures muutub pinnakihi keemiline koostis. Sel eesmärgil rakendatakse tsementiitimist (süsinikuga rikastamist), nitreerimist, tsüaneerimist, aliteerimist, kromeerimist, silitseerimist. Kuumutamise ja jahutamise ebaühtlusest termilisel töötlemisel tekivad termilised pinged. Struktuuriliste muutuste ajalise toimumise ja antud tooriku ristlõikes jaotumise ebaühtlus kutsub esile struktuuripinged. Kõige selle tagajärjel detail deformeerub.

Karastatud detailide noolutamisel jääkpinged vähenevad, kusjuures deformatsiooniaste veidi väheneb; mida kõrgem on noolutustemperatuur, seda enam väheneb karastamisel tekkinud deformatsioon (kõmmeldumine).

Lihtsa kujuga detailide (võllid, puksid, plaadid) kuju ja mõõtmeid täpsustatakse peale termilist töötlemist õgvendamisega (kui see

on lubatud) ja lihvimisega. Nende operatsioonide töömahu vähendamiseks kuumutatakse detaile erilistes rakistes, lamedetaile karastatakse pressidel, silindrilisi detaile aga karastusmasinatega, kus detailid karastatakse rullide või pressi tasapindade vahele surutuna.

Märksa keerukam on võidelda termilisel töötlemisel tekkivate deformatsioonide vastu keeruka kujuga detailide korral, eriti juhul,



Joon. 110. Pindade plastse deformeerimisega töötlemise riistad ja mõned töötlemisskeemid: *a* — kuulidega rullimispea; *b* — teraskuuli läbisurumine; *c* — silenduskammiga töötlemine; *d* — rullidega rullimispea

kui need on tsementiiditavast terasest. Siiski saab ka neil juhtudel saavutada teatud tulemusi, kui rakendatakse erilisi abinõusid. Nii on keeruka kujuga detailide termilisel töötlemisel esinevate deformatsioonide vähendamiseks soovitatav neid valmistada legeeritud terasest ja karastada õlis.

Detailide puhastamine peale termilist töötlemist toimub: söövitamisega hapete lahustes järgneva pesemisega, elektrokeemilise söövitamisega, tagi haavlijoaga eemaldamisega, õli, soolade ja teiste ainete eraldamisega pesuvannides või -masinates pesemisel.

Pindade plastse deformeerimisega töötlemise (kalestamistehnoloogia) hulka kuuluvad: pindade rullimine kuulide või rullidega, lõhkeainetega kalestamine ja avade töötlemine kuulide, tornide ja veerepeadega. Selle töötlemise näiteid ja tööriistade konstruktsioone on toodud joonisel 110. Välispöördpindu rullitakse ühe või mitme karastatud terasest või kõvasulamist rulliga, mida surutakse vastu töödeldavat pinda teatud jõuga. Väikeste pindade töötlemisel võivad tööriistaks olla kuulid. Mitmerulliline rullimisskeem on kõige kohasem vähejäikadele toorikutele. Rullitakse treipingitüüpi pinkidel ja see kujutab endast tavaliselt töötlemise lõppsiiret.

Rullimise tulemused olenevad survest rullile. Liiga suur rullimissurve tekitab pinnakihis ebasoovitavaid muutusi, mis põhjustavad hiljem pinnakihi lahtikoorumist.

Pinna rullimine peale määratud lõikeservaga lõikeriistadega toimunud puhastöötlemist tõstab üks-kaks klassi pinnasiledust ja suurendab 10...15% täpsust, tagades 3. või 2. täpsusklassi ja 7. ... 9. pinnasiledusklassi.

Pinnakihtide tugevuse suurenemine ulatub selle meetodi juures 30...50%-ni, kandev pind (kontaktpind) suureneb ja ulatub 90...95%-ni.

Detailide tugevuskarakteristikute tõstmiseks on otstarbekohane rullida võllitüüpi detailide kaelakohti ja üleminekusooni vastava raadiusega rullide või kuulidega.

Eelnevalt 3. või 2. täpsusklassi järgi sisetreimisega töödeldud või hõõritsetud ava kalibreerimine annab 2. või 1. täpsusklassi ja 7. ... 10. pinnasiledusklassi. Sealjuures kasutatakse määrdeainet: malmdetaile töödeldakse petrooleumiga, teras- ja pronksdetaile mineraalõlidega.

Pindade töötlemisel lõhkeainetega toimub lõhkeaine plahvatamisel eralduva suure energia ja kõrge temperatuuri toimel mitmesuguste metallide pinna tihendamine. Lõhkeainetena kasutatakse nõrga või tugeva toimega lõhkeaineid. Suure deto-

neerimiskiiruse tõttu võimaldavad viimased teha sama ajaga märksa suurema mahuga töö kui nõrga toimega lõhkeained.[1]
Tihendamiseks vajalik lõhkeainehulk ulatub kuni 1 kg ja rohkem olenevalt detaili mõõtmetest ja valmistamise iseärasustest. Lõhkeprotsessil esinevaid füüsikalisi nähtusi pole seni selgitatud; oletatakse, et lõhkeaine energia kutsub lõhkeprotsessis esile metalli hüdrodünaamilise voolamise.
Haavlijoaga kalestamisel tekib haavlite löökide toimel metalli pinnakihi plastne deformatsioon. Protsessi olemus seisneb selles, et eelnevalt mehaaniliselt või termiliselt töödeldud ja erilise seadme töökambrisse paigutatud detailile juhitakse suure kiirusega malm-, teras-, alumiinium- või klaashaavlite juga (haavlite läbimõõt on 0,4 ... 2 mm). Haavlite löökide toimel detaili pinnakiht kalestub.
Pinnakihi kõvadus ja tugevus suureneb 0,2 ... 1,0 mm sügavuseni; saadakse soodne jääkpingete jaotus detaili ristlõikes ja muudetakse kristalliterade kuju ja orientatsiooni plastsele deformeerimisele ja purunemisele efektiivsema vastupanu suunas; järsult väheneb metalli tundlikkus pinnadefektidele. Haavlijoaga kalestamine kõrvaldab terasdetailide dekarboniseeritud pinnakihi kahjuliku mõju väsimustugevusele.
Haavlitega kalestamine vähendab efektiivselt pingete kontsentratsiooni pingekontsentraatorites — tehnoloogilistes (mehaanilise töötlemise jäljed), ekspluatatsioonilistes (kriimustused, korrosioon), aga kalestunud kihi küllaldase sügavuse juures ka konstruktiivsetes (sooned, ristlõigete järsud üleminekud).
Haavlijoaga kalestamine muudab pinna mikrogeomeetriat, suurendades selle karedust lihvitud pinnaga võrreldes; ent sellele järgnev haavlijoaga kalestatud pinna kareduse piires tehtav lihvimine praktiliselt ei vähenda haavlijoaga kalestamise efektiivsust.
Haavlijoaga kalestamine tõstab terasest ja ülitugevast malmist detailide väsimustugevust. Hallmalm ei kalestu haavlijoas. Tsüklilisel koormusel töötavate keevisliidete haavlitega kalestamine tõstab tunduvalt nende tugevust. Haavlijoaga kalestamine tõstab väsimuspiiri keskmiselt 50% võrra.
Väga häid tulemusi annab mitmesuguste pinna kõvendamise meetodite (kõrgsagedusvooluga karastamine, tsementiitimine, pinnakatted jms.) kombinatsioon haavlijoaga kalestamisega.
Haavlijoaga kalestamiseks kasutatakse tavaliselt mehaanilisi ja pneumaatilisi haavlipildujaid. Mehaanilistes haavlipildujates toimub haavlite laialipildumine kiirelt pöörleva rootori (2000 ... 3500 p/min) radiaallabidatega.

[1] Tihendamiseks kõlblike lõhkeainete hulka kuuluvad nitroglütseriindünamiit, trinitrotoluool, ammooniumnitraatdünamiit jt.

Pneumaatilistes haavlipildujates paisatakse haavlid läbi ühe või mitme düüsi suruõhuga 500 ... 600 kN/m² (5 ... 6 kG/cm²). Neid kasutatakse raskesti ligipääsetavate pindade (sügavad avad, süvendid jms.) kalestamisel.

Mehaanilised haavlipildujad katavad töödeldava detaili haavlitega ühtlaselt, on suurema tootlikkusega ja ökonoomsemad kui pneumaatilised haavlipildujad.

Masinadetailide ja toorikute puhastamine töötlemisprotsessis. Valmisdetailid tuleb enne tehnilist lõppkontrolli hoolikalt puhastada jahutusvedelikust, laastudest ja teistest võõrkehadest. Ainult sellisel juhul saab toimuda kvaliteetne kontroll.

Kontrollitavad detailid pestakse tavaliselt pesuvannides või -masinates. Ühekambriliste pesumasinate puhul lükatakse detailid mööda rullteed konveierile, mis nihutab nad pesukambrisse; surve all juurdejuhitav pesulahus peseb detailid kiiresti igast küljest; lahus voolab äravoolutoru kaudu filtrisse ja sealt uuesti pumpa. Pesulahuse temperatuur on 60 ... 80° C, seepärast kuivavad masinast väljunud detailid küllalt kiiresti. Kahekambriliste pesumasinate esimeses kambris toimub pesemine, teises kambris loputamine pesulahuse jääkide eemaldamiseks. Mõnikord on pesumasinates ka kuivatuskambrid (kolmekambrilised masinad). Pesemiseks kasutatakse emulsooli või vedela seebi vesilahuseid kaltsineeritud sooda ja vesiklaasi lisamisega ja muid lahuseid.

Suuri detaile (korpused, pinkide sängid jms.) puhastatakse ümmarguste (läbimõõduga umbes 150 mm) mehaaniliste terasharjadega ja seejärel painduva vooliku düüsist tuleva suruõhujoaga. Vahekontrolli rakendamisel puhastatakse ka vahekontrolliks esitatud detailid.

Tööstuses rakendatav ultraheliga puhastamine võimaldab puhastada mitte ainult välispindu, vaid ka raskesti ligipääsetavaid sisepindu (kanalid, kitsad süvendid jms.). See meetod ületab tootlikkuselt ja puhastamise kvaliteedi poolest teisi detailide pesemise ja puhastamise meetodeid.

Detailide metallilõikepinki paigaldamisel puhutakse rakise paigalduselemendid sageli üle suruõhujoaga, et puhastada neid laastudest.

3. PINDADE KATMISE MEETODID

Masinaehituses kaetakse pindu lakkide ja värvidega, galvaaniliste pinnakatetega, oksiidide ja plastmasskiledega. Metalsete ja mittemetalsete pinnakatete klassifikatsiooni, paksuste read ja tähistuse määrab ГОСТ 9791-61.

Lakk- ja värvkatted. Lakke ja värve kasutatakse nii dekoratiivkatetena kui ka metallpindade korrosioonivastase kattena ning puitpindade kaitseks niiskuse ja mädanemise vastu.

Kaitsekihi saamiseks, näiteks korpusdetailide sisepindadele, kantakse värvkate peale ühekihilisena (kruntimine) või kahekihilisena (kruntimine ja värvimine). Teistel juhtudel kasutatakse lakke ja värve dekoratiivkaitsekihtidena. Selliseid keemiliselt ja termiliselt püsivaid pinnakatteid tehakse nii ühe- kui mitmekihilistena.

Lakk- ja värvkatete pealekandmise protsess koosneb kolmest etapist: pinna ettevalmistamisest, selle värvimisest ja kuivatamisest, värvitud pinna viimistlemisest.

Pinna ettevalmistamine värvimiseks seisneb selle puhastamises ja tasandamises, kruntimises ja pahteldamises koos järgneva lihvimisega. Detaile puhastatakse roostest ja tagist kas väävel- või fosforhappe lahuse keemilisel toimel koos järgneva pesemisega ja leelise lahusega neutraliseerimisega või mehaaniliselt — töötlemine haavlijoaga, lihvimine kantavate lihvimisseadmetega ja mehaaniliste terasharjadega.

Et vabastada detaile õlist ja muust mustusest, pestakse neid pesemisagregaatides ja -masinates või kuumutatakse neid ahjudes temperatuurini 350 . . . 400° C.

Rakendatakse ka fosfateerimist või oksüdeerimist kilede moodustamiseks, mis tagavad laki või värvi ja detaili pinna vahelise tugeva ühenduse.

Suurte lehtmaterjalist stantsitud detailide ja nendest moodustatud sõlmede pinna tasandamiseks täidetakse süvendid joodisega ja seejärel puhastatakse, suurte valandite pinda tasandatakse aga lihvimisega. Rakendatakse ka plastmasside gaasileegiga pealepihustamist defektikohtadele koos järgneva tasaseks lihvimisega. Ettevalmistatud pinnale kantakse krundikiht, et järgnev kattekiht seostuks detaili pinnaga. See kiht peab olema korrosioonivastane, niiskust mitteläbilaskev ja elastne. Kasutatakse õlilakk-, bituumen-õli- ja nitrokrunte.

Krunditud pind pahteldatakse. Pahtlikihi paksus määratakse pinna tasandamise kvaliteediga: ta peab olema minimaalne. Väga paksu pahtlikihi korral väheneb kattekihi tugevus. Masinaehituses on enam levinud õlilakk- ja kiirelt kuivavad nitropahtlid.

Pahteldatud ja kuivatatud pinna ebatasasusi silutakse mehaaniliste tööriistade abil toimuva märg- või kuivlihvimisega.

Pärast märglihvimist pestakse pind veega üle, pühitakse kaltsu või seemisnahaga puhtaks ja kuivatatakse. Peale kuivlihvimist puhutakse pind suruõhuga üle ja pühitakse kaltsuga puhtaks.

P i n d a v ä r v i t a k s e ühe- või mitmekihiliselt. Kasutatakse õli- ja emailvärve ning -lakke.

Õlivärvid lahjendatakse enne kasutamist värnitsaga sobiva paksuseni.

Olenevalt pealekandmise meetodist võib kasutada ka täiendavaid lahusteid — tärpentini, lakibensiini jt. Loomulik kuivamine kestab 24 tundi. Pealekantud õlilakikiht annab värvitavale pinnale läike.

Emailvärvid liigitatakse õliemailideks (valmistatud õlilakkide baasil), nitroemailideks (tselluloosieetritest lakkide baasil) ja piirituse-emailideks (piirituslakkide baasil).

Emailvärve toodetakse tarvitamisvalmitena. Kuivamisaeg on 30...40 min. Kuivamisel tekib kõva läikiv kiht. Kuid nendel värvidel on ebaküllaldane ilmastikukindlus ja halb nake (adhesioon) vastavalt ettevalmistamata pindadega.

Masinaehituses kasutatakse järgmisi toodete värvimise meetodeid.

Pintsliga käsitsivärvimine on väga lihtne ega nõua kõrvalasuvate mittevärvitavate pindade kaitset, kuid on vähetootlik ja kiiresti kuivavate materjalidega töötamisel ebamugav. Pintsli suurus, kuju ja jäikus määratakse värvitava pinna mõõtmete ja kvaliteedi järgi.

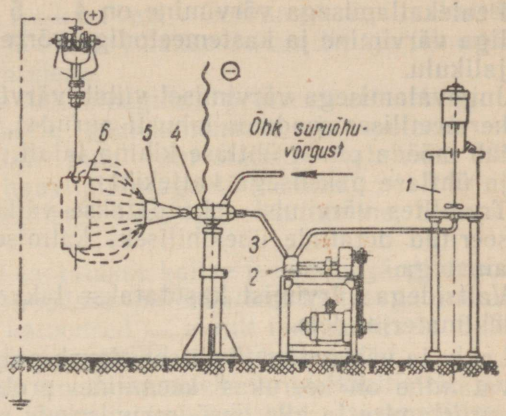
Käesoleval ajal on enam levinud pihustamisega värvimine. See on tingitud meetodi suurest tootlikkusest (5...10 korda suurem kui pintsliga värvimisel) ja nii aeglaselt kuivavate kui ka kiiresti kuivavate lakkide ja värvide pealekandmise võimalusest (nitrolakid, nitroemailid), mis teiste meetoditega pealekandmisel ei moodusta tasast ja ühtlast kihti. See meetod on perspektiivne värvimistööde automatiseerimise seisukohalt.

Kasutatakse mehaanilist, suruõhuga ja suruõhuta pihustamist ning pihustamist elektrostaatilises väljas.

Mehaanilisel pihustamisel juhitakse värvaine pihustisse pumbaga tekitatud hüdraulilise survega.

Suruõhuga pihustamisel juhitakse värvaine värvipihustisse; suruõhujoas peenestub see tilgakesteks ja kantakse uduna värvitavale pinnale.

Suruõhuta pihustamisel paisatakse temperatuuril 70...90° C ettekuumutatud värvaine rõhuga 2000...4000 kN/m^2 (20...40 kG/cm^2) erikonstruktsiooniga pihusti düüsist välja. Rõhk kahaneb



Joon. 111. Elektrostaatilises väljas värvimise skeem: *1* — paak; *2* — pump; *3* — voolik; *4* — turbiin; *5* — pihusti; *6* — värvitav detail

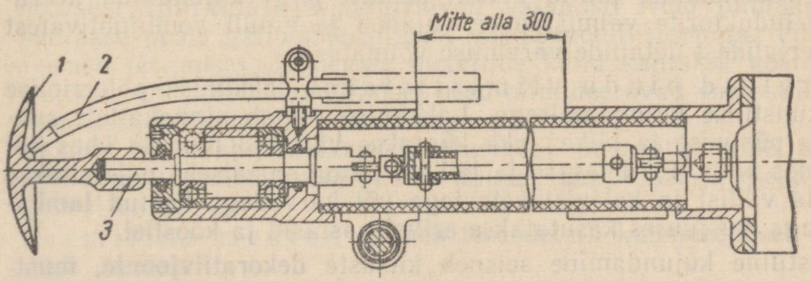
sealjuures atmosfäärirõhuni, lahusti aurustub silmapilkselt ja selle aurud kutsuvad paisudes esile veel suurema värvaine pihustumise. See meetod lubab kasutada suurema viskoossusega materjale, mis vähendab lahusti kulu ja kuivamisaega.

Elektrostaatilises väljas pihustamisel (joon. 111) värvaine peenestatakse ja kantakse värvitavale pinnale elektrostaatilise laengu toimel, mis saadakse kõrge pingega alalisvooluallikast. Elektrostaatilises väljas toimub värvaine etteandmine pihustitega (joon. 112).

Sellel meetodil on võimalik värvida ka mittemetalseid detaile, kui paigutada nende taha metallekraanid.

Peale värvaine kokkuhoiu paranevad selle meetodi juures töötingimused, suureneb tootlikkus ja luuakse värvimisprotsessi komplekssе automatiseerimise eeldused.

Kastemeetod on tootlik ja odav voolujoonelise kujuga väikeste detailide massilisel värvimisel.



Joon. 112. Seenekujuline ajamiga pihusti: *1* — pihusti; *2* — etteandetoru; *3* — pihusti võll

Pealekallamisega värvimine on 4...5 korda tootlikum kui pintsliga värvimine ja kastemeetodiga võrreldes esineb väiksem materjalikulu.

Jugavalamisega värvimisel viibib värvitud detail teatud aja vältel hermeetilises seadmes lahusti aurudes, mille juures värvaine voolab mööda pinda ühtlase kihina laiali. Saadakse sile, pooridevaba ja ühtlase paksusega kattekiht.

Trumlites värvimist rakendatakse väikeste ühetüübiliste normaliseeritud detailide ühekihiliseks katmiseks kiirelt kuivavate värvainetega.

Valtsidega värvimist kasutatakse lakk- ja värvainete kandmiseks lehtmaterjalidele.

Lakk- ja värvkatete kvaliteet oleneb palju kuivatamise viisist. Kuivatamine on keerukas keemiline protsess, mis haarab lahusti aurustamise ja kile oksüdeerimise või polümeriseerimise. On kaks kuivatamismeetodit: loomulik ja tehislik. Loomulik kuivatamine toimub temperatuuril 18...25° C ja on üsna aeganõudev protsess. Tehislik kuivatamine kiirendab kile kuivamisprotsessi ja parendab tunduvalt pinnakatet, suurendades selle kõvadust, veekindlust ja muid kvaliteedinäitajaid. Esineb mitu tehisliku kuivatamise meetodit.

Enam levinud on konvektsioonkuivatamine. See meetod seisneb värvitud detailide kuuma õhuga kuumutamises erilistes kuivatites. Õhku kuumutatakse elektrivooluga, auruga, gaasiga. Kuivatamisprotsess algab pinnakatte pinnakihist. Sealjuures moodustuv kooruke takistab lahusti lendumist, mis pikendab kuivatamisaega.

Soojuskiirguskuivatamine (reflektor-, paneel-, lampkuivatamine) põhineb infrapunase kiirguse neeldumisel värvitud pinnas. Kile kuivamine algab pinnakatte alumistest kihtidest, millega kiireneb lahusti aurustumine. Kuivatamisaeg lüheneb 5...10 korda, kile kvaliteet tõuseb.

Induktsioonkuivatamisel kuivab pind väga kiiresti, kuid selle meetodi rakendamist piirab detaili profiili järgi kujundatud keerukate induktorite valmistamise vajadus ja ainult voolujuhtivatest materjalidest detailide värvimise võimalus.

Värvitud pindu viimistletakse lakkimise, poleerimise ja kunstilise kujundamisega. Lakkimine annab pinnakattele suurema püsivuse ja läike; lakk kantakse värvitud pinnale ühes või mitmes kihis. Eriti tasase ja läikiva pinna saamiseks poleeritakse pinda vildist ja kalevist ketastega või karvadega kaetud lambanahaga, kusjuures kasutatakse erilisi pastasid ja koostisi.

Kunstiline kujundamine seisneb kitsaste dekoratiivjoonte, mustrite ja vabrikumärkide pealekandmises. Enam levinud on mustrite trafaretiga pealekandmine ja dekalkomaania.

Galvaanilised pinnakatted[1]. Galvaanilisi pinnakatteid kasutatakse masinadetailide kaitse-, kaitse-dekoratiiv- ja tehnoloogiliste kulumiskindlate kihtidena.

Pinnakatte pealekandmise tehnoloogiline protsess seisneb pinna ettevalmistamises, pinnakatte pealekandmises ja poleerimises (vajaduse korral). Detailide pind valmistatakse katmiseks ette mehaaniliselt (lihvimine, haavlipildujaga töötlemine) või keemiliselt (rasvatustamine leeliselistes lahustes, söövitamine, dekapeerimine).

Galvaanilised pinnakatted jaotatakse kaitse iseloomu järgi anoodseteks ja katoodseteks. Anoodsed pinnakatted kaitsevad metalldetaile elektrokeemiliselt, katoodsed — ainult mehaaniliselt. Sellepärast esitatakse viimastele rangemad kvaliteedinõuded.

Vasetatakse aluskihi moodustamiseks mitmekihilistele pinnakatetele, terasdetailide kohalikuks kaitseks tsementiitimise vastu, traadi katmiseks selle elektrijuhtivuse tõstmisel.

Nikeldatakse (läikiv, mitteläikiv ja keemiline nikeldamine) kaitse-dekoratiivpinnakatte moodustamiseks kas vahetult või vaskaluskihiga pinnale.

Kroomitakse kaitse-dekoratiivpinnakatte moodustamiseks ja detailide vastupanu suurendamiseks mehaanilisele kulumisele. Poorne kroomimine annab õliga paremini märguva ja väiksema hõõrdeteguriga pinna.

Tsingitakse kaitseks korrosiooni eest magedas ja merevees, petrooleumis ja bensiinis. Tsinkpinnakatete keemilisel töötlemisel suureneb korrosioonikindlus ja pareneb välimus.

Kadmeeritakse kaitseks korrosiooni eest niiskes merekliimas ja merevees ning tööpindade sissetöötamise parendamiseks.

Tinatatakse kaitseks korrosiooni eest nõrkades happelistes keskkondades, aluskatte moodustamiseks detailide jootmisel ja kohalikuks kaitseks nitreerimisel.

Sulamitest pinnakatted suurendavad kõvadust (nikkel-koobalt-) ja korrosioonikindlust (tsink-kaadmium-), vähendavad poorsust (plii-tina) ja parendavad välimust. Neid pinnakatteid kantakse peale galvanotermiliselt või termodifusiooniga. Viimane seisneb järgmises. Erinevate metallide kihid kantakse peale järjestikku, edasisel kuumutamisel need difundeeruvad vastastikku ja moodustavad vahelduva koostisega sulamid.

Oksiid- ja fosfaatpinnakatted. Mustadel metallidel võib saada oksiid- ja fosfaatpinnakatteid termilisel, keemilisel ja elektrokeemilisel viisil.

Termiline meetod seisneb terasdetaili kuumutamises õhus,

[1] Galvanotehnika alused on toodud vene akadeemiku B. S. Jacobi (1801 ... 1874. a.) töödes.

veeauru keskkonnas või sulasalpeetris. Sealjuures tekib metalli pinnale umbes 1 μm paksune kile, millel on mitmesugune värvus olenevalt selle koostisest ja oksüdeerimistemperatuurist. Õhktermilist meetodit kasutatakse laialdaselt õhukeste isolatsioonkilede saamiseks elektrotehnilise aparatuuri detailidele.

Keemiliste meetodite hulka kuuluvad leeliseline ja happeline oksüdeerimine. Esimesel juhul töödeldakse terasdetaile sööbeleelise kuumas kontsentreeritud lahuses, millesse on lisatud hapendajaid; teisel juhul sisaldab töölahus ortofosforhapet ja hapendajaid. Võrreldes leeliselise oksüdeerimisega lüheneb leelisvabal oksüdeerimisel töötlemise kestus 2...3 korda, suureneb kile mehaaniline tugevus ja korrosioonikindlus.

Selle meetodiga terasdetailidele saadud oksiidkiled ei ole oma väikese paksuse (0,8...3 μm) ja õige suure poorsuse tõttu kindlaks korrosioonivastaseks kaitseks. Kaitsevõimet saab tõsta lakiga katmisega.

Keemilise meetodiga võib oksüdeerida alumiiniumist, magneesiumist, vasest, tsingist ja nende sulamitest detaile. Keemilisi oksüdeerimismeetodeid kasutatakse aparaatide, tööriistade ja laiatarbetoodete viimistlemisel.

Mustadest ja värvilistest metallidest ja sulamitest detailide elektrokeemiline oksüdeerimine toimub sööbeleelise lahuses. Protsess kulgeb madalamal temperatuuril ja väiksema kemikaalide kuluga kui keemilisel leeliselisel oksüdeerimisel. Selle teostamiseks on vaja alalisvoolu ja erilisi rakiseid detailide ülesriputamiseks vannidesse. Oksüdeeritavad detailid on anoodiks. Neid puhastatakse eelnevalt rasvast ja korrosioonijälgedest; pärast oksüdeerimist loputatakse detailid vees puhtaks.

Dekoratiivoksüdeerimise kestus on 30...40 min.; korrosioonikindlate kilede saamisel pikeneb aeg 1,5...2 tunnini.

Fosfateerimisel moodustatakse metalli pinnale keemiliselt lahustumatute mangaani ja raua või raua ja tsingi fosforhappesoolade kile. Olenevalt fosfaatkile struktuurist ja pinna ettevalmistamise meetodist võib selle paksus olla alates 2...4 μm kuni 10...15 μm ja rohkem. Fosfateerida võib mustadest, värvilistest ja kergetest metallidest detaile.

Metalsete ja plastmasspinnakatete pihustamisega pealekandmine. Metalliseerimise all tuntud metalsete pinnakatete pealekandmise protsess seisneb sulametalli suruõhujoaga pihustamises ja selle kaetavale pinnale suure kiirusega (100...150 m/s) pealekandmises.

Pihustatud metalliosakesed haakuvad töödeldava pinnaga mehaaniliselt ja moodustavad poorse metallkattekihi. Pihustatud metalliosakeste ja töödeldava pinna vahel ei esine keevitumist ega kokku-

sulamist. Metalliseerimisel muutuvad kaetavale pinnale kantud metalli struktuur, füüsikalised omadused ja keemiline koostis.
Detaili pinnale kantud poorne kiht on mitteplastne ja habras, kuid töötab hästi survele.
Metalliseerimist rakendatakse kaitse-dekoratiiv-, antifriktsioon- ja kuumuskindlate pinnakatete saamiseks, kulunud detailide taastamiseks ja valudefektide parandamiseks.
Metalliseeritakse eriliste aparaatidega, kus metall pihustatakse kas atsetüleeni-hapnikuleegiga (gaasiline metalliseerimine) või kaarleegiga (elektriline metalliseerimine). Pihustamiseks kasutatakse kuni 2 mm läbimõõduga metalltraati; harvemini rakendatakse sulatatavate pulbritega töötavaid aparaate.
Enne metalliseerimist puhastatakse pind õlist ja hapendeist. Pihustatud kihi paremaks haakumiseks töödeldakse pinda eelnevalt liivapildujaga või koorivtreimisega, millega muudetakse pind karestatuks. Metalliseerimisega kaetakse mitte ainult metalseid, vaid ka mittemetalseid materjale.
Plastmasspinnakatted kantakse peale gaasileek- või keerismeetodiga. Pihustatavad plastmassid (tavaliselt vaigud) peavad moodustama kõrge adhesiooniga tugevad kiled, olema vastupidavad kuumutamisele ja võimaldama pihustamist väga väikesteks osakesteks. Sellistele tingimustele vastavad kaprolaktaam (kaproon), polüvinüülbutüraal, bituumenid.
Selliselt saab peale kanda keemiliselt inertseid raskesti lahustuvatest vaikudest (polüetüleen) üsna pakse (3 mm ja rohkem) kaitsekilesid.
Mitmesuguse kasutamisotstarbega detailidele kuumutamisel sulavatest materjalidest (sulamistemperatuur 80 ... 500° C) kattekihtide moodustamiseks rakendatakse gaasileegilist pealepihustamist. Keeriseline pealepihustamine võimaldab igasugustele pindadele peale kanda kattekihte paksusega 0,8 ... 1 mm. Pealepihustamise operatsiooni kestus on sekundites.
Masinadetaile kaetakse antikorrosioonmäärdega juhtudel, kui valmisdetailid ei lähe vahetult koostamisele, vaid antakse hoiule või on ette nähtud nende pikemaajaline transportimine. Määrdeained ei tohi sisaldada mehaanilisi lisandeid, vett ja vabu mineraalhappeid. Hapete neutraliseerimiseks lisatakse määrdeainele mõnikord vaba või seotud leelist (alates 0,02%). Et määrdeaine detaili pinnaga paremini kleepuks, lisatakse sellesse kampolit või seepi.
Määrdeainete pealekandmise tehnoloogia seisneb pinna ettevalmistamises ja määrdeaine pealekandmises. Parimaks detailide ettevalmistamise viisiks enne määrdeaine pealekandmist on nende pesemine paakides või pesumasinates.
Peale pesemist detailid kuivatatakse kas kuiva puidusaepuruga, puhaste kaltsudega, soojendatud õhuga kuivatuskappides või

(kõige tootlikumalt) kuumutatud kuiva suruõhuga ülepuhumisega. Määrdeainete pealekandmiseks kastetakse detail määrdeainesse. Suurtele detailidele ja koostatud mehhanismidele kantakse määrdeaine pintslitega (vedelate määrdeainete puhul) või pehmete takkudega (paksude määrdeainete puhul); nendel juhtudel seisneb pinna ettevalmistamine lahustiga niisutatud kaltsudega pühkimises ja soojendatud suruõhuga kuivatamises. Määrdeaine pealekandmine pintslite ja takkudega on vähetootlik; otstarbekohasem on vedelate määrdeainete pihustamine. See tagab usaldatava katmise ka detaili raskesti ligipääsetavates kohtades.

4. KOOSTAMISE TEHNOLOOGILISED MEETODID

Detailide vajaliku täpsusega liite saamiseks rakendatakse tänapäeval järgmisi koostamismeetodeid: täis-, osa- ja valikvahetatavuse meetodeid, koostamismeetodit reguleerimisega ja koostamismeetodit sobitamisega.

T ä i s v a h e t a t a v u s e m e e t o d i eelised on: koostamise lihtsus, seisnedes vaid kaasdetailide ja sõlmede ühendamises; voolkoostamise organiseerimise võimalus; tootmise koopereerimise võimalus; tagavaraosadega varustamise ja ekspluatatsioonis oleva masinapargi remondi lihtsustumine.

Need eelised tingisid täisvahetatavuse põhimõttele rajaneva koostamise laialdase rakendamise mass- ja seeriatootmisel. Selle meetodi järgi koostamisel on kaasdetailide konstruktiivsetel kaalutlustel määratud tolerantsid võrdsed või suuremad samade mõõtmete tehnoloogilistest tolerantsidest. Täisvahetatavuse meetodi rakendamist piirab väikeste tolerantsidega detailide valmistamise kõrge omahind, mis avaldub eriti paljulüliliste mõõtahelatega sõlmede koostamisel.

O s a v a h e t a t a v u s e m e e t o d i korral võetakse kaasdetailide mõõtmete tolerantsid suuremad kui täisvahetatavuse puhul. Sealjuures ei saavutata kõikide koostatavate objektide juures sulgeva lüli vajalikku täpsust. Meetod tugineb tõenäosusteooria üldtuntud teesile, mille järgi kõikide mõõtahela lülide piirmõõtmed esinevad märksa harvemini kui mõõtmete keskväärtused. Sellepärast on toodete protsent, mille juures sulgeva lüli hälve ületab nõutud tolerantsi piiri, tühine. Väheste tolerantsi piiridest väljunud toodete parandamisega seotud täiendavad kulutused on tavaliselt väikesed, võrreldes suuremate tolerantsidega detailide valmistamisel saadud töökulu ja -vahendite ökonoomiaga.

Juhul kui konstruktiivsed tolerantsid osutuvad tehnoloogilistest väiksemateks, on otstarbekohane koostada v a l i k v a h e t a t a v u s e m e e t o d i l.

See meetod seisneb järgmises. Detailide mõõtmete konstruktiivsetel kaalutlustel määratud tolerantse ei saada nende täpse töötlemisega, vaid suurendatud tolerantsidega valmistatud välis- ja sisedetailide vastava valikuga; seejuures võib detailid koostada kas vahetu valiku alusel, detailide eelneva sorteerimisega gruppidesse või kombineeritud meetodil — detailide sorteerimisega gruppidesse ja vahetu valikuga.

Vahetu valiku puhul valib koostaja kõikidest koostamisele saadetud detailidest sellised, mis annavad kogemuslikul proovimisel või lehtkaliibriga mõõtmisel vajaliku istu. Selle meetodi peamised puudused on mitterakendatavus voolkoostamisel valiku tegemise ajalise kestuse tunduva kõikumise tõttu ja istu kvaliteedi olenevus koostaja kvalifikatsioonist.

Detailide eelneval sorteerimisel gruppidesse jaotatakse kaasdetailide tolerantsiväljad mitmeks võrdseks osaks ja sorteeritakse detailid selle järgi nii, et igasse koostatavasse gruppi läheksid selle grupi sise- ja välisdetailid; esimesse gruppi kuuluvad suurimate mõõtmetega detailid, viimasesse väikseimate mõõtmetega detailid.

Praktiliselt organiseeritakse valikvahetatavuse meetodil koostamist järgmiselt: 1) määratakse kindlaks tootmistingimuste seisukohalt vastuvõetavad kaasdetailide tolerantsid, s. o. tehnoloogilised tolerantsid δ_{at} ja δ_{vt}; 2) määratakse liite joonise järgi nõutud istu tolerants; 3) määratakse detailide gruppide arv sorteerimisel; 4) määratakse iga grupi välis- ja sisedetailide tolerants δ_{ag} ja δ_{vg}. Istu tolerants

$$\delta_i = \delta_a + \delta_v. \tag{77}$$

Gruppide arv

$$n = \frac{\delta_{at} + \delta_{vt}}{\delta_{ag} + \delta_{vg}}. \tag{78}$$

Iga grupi detailide tolerantsid määratakse ligikaudselt tehnoloogiliste tolerantside jagamisel gruppide arvuga.

Detailide gruppidesse sorteerimisel kasutatakse erilisi mõõteriistu, mõõterakiseid ja suure tootlikkusega sorteerimisautomaate.

Iga grupi detailid markeeritakse erinevalt ja tuuakse koostamiskohale eri taaras.

Detaile ei sorteerita mitte ainult mõõtmete, vaid ka näiteks kaalu järgi (mootorite kepsud ja kolvid).

Detailide sorteerimise ja vahetu valiku kombineeritud meetod seisneb selles, et iga grupi piires valitakse kaasdetail vahetult, millega saadakse kvaliteetsem ist. Seda kombineeritud meetodit

rakendatakse eriti täppisveerelaagrite koostamisel ja real muudel juhtudel.

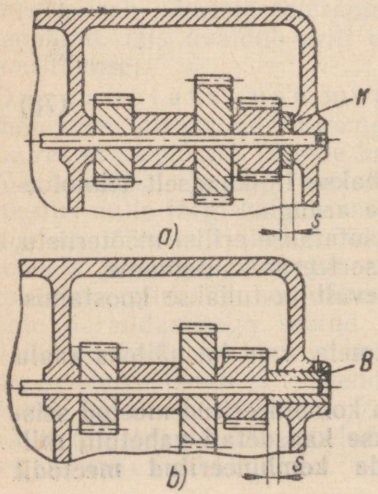
Töödeldud detailide mõõtmete jaotuskõverate analüüs näitab, et detailide gruppidesse sorteerimisel ei kujune detailide arv üksikutes gruppides võrdseks. Välis- ja sisedetailide mõõtmete jaotuskõverad pole ka täpselt ühesugused. Seepärast ei saa valikvahetatavuse meetodi järgi koostamisel teatud osa detaile kasutada, mistõttu suureneb lõpetamata toodangu maht.

Selle vältimiseks sorteeritakse gruppidesse need detailid, mille juures on tootmistingimustes raskem tagada väikesi tolerantse (enamasti on sellisteks detailideks välisdetailid); sorteerimisel igasse gruppi jäänud detailide arvu järgi valmistatakse vastav kogus kaasdetaile selle grupi tolerantsi ulatuses.

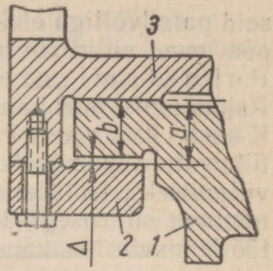
Sorteerimisega, detailide hoidmisega ja üksikute gruppidena koostamiskohale toimetamisega seotud täiendavad kulutused kaetakse detailide suure tolerantsiga töötlemisel saadava ökonoomiaga.

Reguleerimisega koostamise olemus seisneb selles, et sõlme või komplekti kuuluvate detailide mõõtmetele määratakse tehnoloogilised tolerantsid, soovitud ist aga saadakse täiendava kompenseeriva lüli sisseviimisega mõõtahelasse. Näitena on joonisel 113 kujutatud reguleerimisega koostamine sobiva mõõtmega rõnga *K* valikuga (joon. 113, *a*) ja puksi *B* nihutamisega (joon. 113, *b*).

Kompensaatorite rakendamisega võib reguleerida sõlmede ja mehhanismide tasapinnaliste, paralleelsete lülidega mõõtahelate lineaarmõõtmeid, nurkmõõtmeid või kõrvaldada eritelgsust.



Joon. 113. Reguleerimisega koostamise meetodi skeem



Joon. 114. Sõlm, mille koostamistäpsus saadakse sobitamisega

Kompensaatoritena kasutatakse seibe, reguleerimiskruvisid ja keermespukse, kiile ja teisi elemente.

Selle koostamismeetodi eelisteks on sõlme kuuluvate detailide suurendatud tolerantsidega töötlemise võimalus, koostamise lihtsus suure täpsuse juures, reguleerimisvõimalus mitte ainult koostamisel, vaid ka ekspluatatsioonis. Seda meetodit rakendatakse masinaehituses laialdaselt.

Sobitamisega koostamise põhimõte seisneb selles, et liite etteantud täpsus saavutatakse mitte detailide mõõtmete väikeste töötlemistolerantsidega, vaid ühe kaasdetaili sobitamisega teise detailiga.

Joon. 114 on näidatud treipingi supordi tagumise juhtplaadi kinnitussõlm. Selle sõlme mõõtahela võrrand on

$$\Delta = a - b.$$

Lõtku Δ ettenähtud piirides hoidmiseks peaksid mõõtmetel a ja b olema väikesed tolerantsid. Ent arvestades detailide *1* ja *3* suuri gabariite, pole mõõtmete a ja b kõrge täpsuse tagamine majanduslikult otstarbekohane. Sellepärast saadakse vajalik lõtk Δ plaadi *2* sobitamisega koostamisel.

Sobitamiseks nimetatakse detailide kokkupuutepindade täiendavat käsitsi- või mehaanilist töötlemist, mille juures saadakse etteantud ist, pinna geomeetriline täpsus ja kvaliteet.

Lukksepa-sobitustööde põhiliigid on viilimine, puhastamine, kaabitsemine, soveldamine, poleerimine, avade puurimine koostamisel.

Lukksepa-sobitustöödel on individuaal- ja väikeseeria-, mõnikord ka seeriatootmises suur osatähtsus. Arvestades nende suurt töömahtu ja vajadust kõrge kvalifikatsiooniga tööliste järele, on ilmne nende tööde mehhaniseerimise vajadus.

V i i l i m i s t kasutatakse koostamisel põhiliselt etteantud lineaarmõõtme saavutamiseks või peale detaili töötlemist tekkinud kujuhälbe (näiteks sisepingete ümberjaotusest) eemaldamiseks.

Viilimisprotsessi mehhaniseerimiseks rakendatakse viilimispinke, elektriviile, elektrilisi ja pneumaatilisi käsimasinaid, universaal-

seid paindvõlliga elektriajameid, kusjuures tööriistadeks on erilised pöörlevad viilid või abrasiivpead.

P u h a s t a m i s e l eemaldatakse viilimisega töötlemiskraate. Puhastamist mehhaniseeritakse samuti nagu viilimistki.

K a a b i t s e m i s t rakendatakse peamiselt juhtpindade ja nendel liikuvate supordikelkude kokkupuutepindade täsapinnalisuse saavutamiseks, kaasdetailide pindade tiheda kokkupuute saamiseks ja nõutava suurusega tugipinna moodustamiseks liugelaagrites. See töötlemisviis on vähetootlik ja töömahukas, teda asendatakse lihvimisega, peentreimisega ja teiste suurema tootlikkusega mehaanilise töötlemise viisidega.

Kaabitsemist saab mehhaniseerida paindvõlliga käitatavate kaabitsemispeade või teiste mehaaniliste tööriistade (sisseehitatud elektrilise või pneumaatilise ajamiga mehaanilised kaabitsad) rakendamisega.

S o v e l d a m i s t kasutatakse juhul, kui on vaja tagada liite hermeetilisust (sisepõlemismootorite klapid, kütteaineaparatuuri plunžripaarid jms.). Lukksepa-sobitustöödel soveldatakse kokkupuutuvaid pindu vahetult. Tavaliselt soveldatakse erilistel sovelduspinkidel toorikute mehaanilise töötlemise protsessis; kaasdetailide soveldamisel antakse need koostamisele paarikaupa koos.

P o l e e r i m i s t rakendatakse lukksepa-sobitustöödel pinnasileduskласsi tõstmiseks. Kasutatakse pehmeid kettaid ja peeneteralisi abrasiivpulbreid või poleerpastasid. Võllikaelu poleeritakse nende pöörlemisel lihtsate rakiste (poleerimispihid) kasutamisega, millesse asetatakse järjestikku parafiinist ja peeneteralisest abrasiivpulbrist mastiksiga või poleerpastaga kokkumääritud naha-, kalevi- ja sametitükk.

Poleerimistöid saab mehhaniseerida eriliste poleerimispinkide rakendamisega. Juhul kui nende tööde maht pole suur, kasutatakse sisseehitatud elektrilise või pneumaatilise ajamiga lihvimis-poleerimismasinaid.

Avad töödeldakse koostamisel pärast kaasdetailide etteantud asenditesse väljarihtimist; avad puuritakse, mõnikord ka hõõritsetakse; real juhtudel toimub poldipea või mutri aluspinna laupsüvistamine ja fikseerimiskruvide avade keermetamine. Olenevalt kaasdetailide gabariitmõõtmetest tehakse neid operatsioone statsionaarsetel puurpinkidel, pneumaatiliste või elektriliste käsipuurmasinatega, paindvõlliga puurmasinatega, ümberpaigutatavate radiaalpuurpinkidega (raskemasinaehituses). Vajaduse korral rakendatakse mitmesuguseid telgjõudu vastuvõtvaid rakiseid.

Vaadeldud koostamismeetodeid rakendatakse kõigi kolme tootmistüübi ja mitmesuguste organisatsiooniliste vormide juures. Nii näiteks toimub autode voolkoostamine (masstootmisel) põhiliselt täisvahetatavuse meetodil, kuid sealjuures moodustatakse rida lii-

teid valikvahetatavuse meetodil (silinder — kolb; kolvisõrm — keps — kolb), samuti reguleerimisega koostamise meetodil (vaheplekkide valikuga tehtavad liited) ja lõpuks isegi sobitamisega koostamise meetodil (klappide soveldamine klapipesadesse). Raskemasinaehituses (individuaaltootmine) kasutatakse peale sobitamise ka vaheplekkidega või nihutatavate kompensaatoritega koostamist (koostamine reguleerimisega); samal ajal rakendatakse kinnitusdetailide koostamisel põhidetailidega täisvahetatavuse meetodit. Tavaliselt koostatakse seeriaviisiliselt valmistatavaid normaliseeritud sõlmi vahetatavuse meetoditega.

Koostamine toimub mitmesuguste liikumatute ja liikuvate liidete moodustamisega. Liikumatuid liiteid kasutatakse juhul, kui nõutakse kokkupuutuvate elementide muutumatut vastastikust asendit. Liikuvad liited võimaldavad kaasdetailide vastastikust nihutamist. Nii liikumatud kui ka liikuvad liited kujundatakse kas lahtivõetavatena või mittelahtivõetavatena. Lahtivõetavateks liideteks nimetatakse selliseid, mida võib lahti võtta ilma kokkupuutuvaid elemente või kinnitusdetaile vigastamata. Mittelahtivõetavaiks nimetatakse liiteid, mille ekspluateerimisel pole lahtimonteerimist ette nähtud; kui seda aga tehakse, siis kas vigastatakse kokkupuutuvaid elemente või purustatakse kinnitusdetailid või kinnitav õmblus.

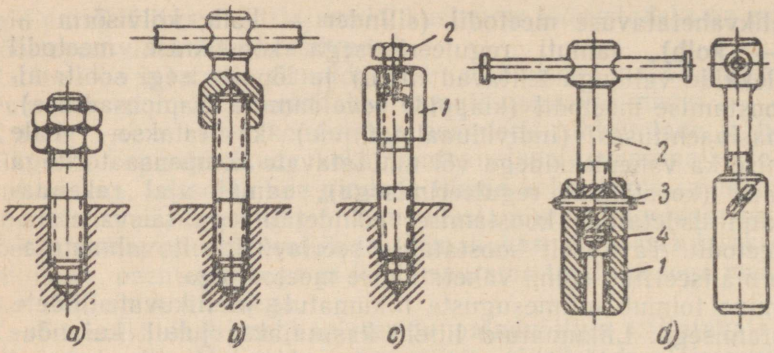
Mitteliikuvate lahtivõetavate liidete hulka kuuluvad keermes-, kiil- ja hammasvõll-liited. Real juhtudel kujundatakse need liited üleminekuistudega (umb-, kinnis-, ping-, tiheist) ja koonusliidetena. Keermesliidetes kasutatakse tavaliselt tikkpolte, polte või kruvisid.

Masstootmisel moodustab masinate keermesliidete koostamise töömaht 25...40% koostamise üldisest töömahust. Seepärast pööratakse praegusel ajal suurt tähelepanu nende liidete koostamise mehhaniseerimisele.

Tikkpoltidega keermesliiteid kasutatakse enamasti tasapindade vahetul kokkupuutel või tasapinnaliste detailide tihenditega koostamisel. Enne koostamist keeratakse tikkpoldid sisse. Vastutusrikaste liidete terasest tikkpoldid keeratakse malm- või alumiiniumkorpustesse garanteeritud pinguga.

Mõningatel juhtudel paigaldatakse tikkpoldid pinguta, kuid tagatakse tikkpoltide liikumatus peale sissekeeramist (näiteks liimi kasutamisega).

Põhilised tikkpoltide sissekeeramismoodused on näidatud joonisel 115; kahe mutriga (joon. 115, *a*), millest üks on kontramutter; sissekeeramiseks kasutatakse ülemist mutrit, väljakeeramiseks — alumist mutrit; võtmega (joon. 115, *b*), kasutatav alumise keerme väiksema tõusu korral (võrreldes ülemise keerme tõusuga); abinõuga (joon. 115, *c*), mis koosneb mutrist *1* ja kontrakruvist *2*;



Joon. 115. Tikkpoltide sissekeeramise moodused

peale tikkpoldi kinnikeeramist pööratakse kontrakruvi lahti ja eemaldatakse mutter seda käega vabalt pöörates; võtmega (joon. 115, *d*), mis koosneb hülsist *1* ja kontrakruvist *2* tihvtiga *3* ja karastatud vahetükist *4*. Kuid kõik need meetodid on vähetootlikud. Iseavaneva peaga elektrilise tikkpoldikeeriku kasutamisel tõuseb töötootlikkus palju kordi. Sel eesmärgil võib kasutada ka eriseadmeid.

Tikkpoldid peavad olema liite pinnaga risti (lubatud kõrvalekalle on piires 0,3 ... 1,5 μm tikkpoldi väljaulatuva osa 1 mm kohta ja ulatuma sellest pinnast ettenähtud kõrguseni. Tikkpoldi ristseisu saab kontrollida tavalise nurgiku ja lehtkaliibriga, väljaulatust — piiršablooniga. Tikkpoldi etteantud väljaulatuse saamiseks asetatakse käsitsi sissekeeratud tikkpoldile rõngad.

Keermesliited võib jaotada nende koostamise tehnoloogia järgi eelpingestatud ja eelpingestamata liideteks. Esimesed on laialt levinud, teiste kasutusala on piiratud.

Poldi (tikkpoldi) eelpingestamise aste oleneb liite koormusjõududest.

Keermesliite nõutud eelpingestamise kindlustamine on koostamistehnoloogia väga vastutusrikas osa. Selle nõude täitmiseks rakendatakse piirmomendivõtmeid, mis lülituvad varem kindlaksmääratud pingutusmomendi saavutamisel automaatselt välja, ja dünamomeetrilisi võtmeid, mis näitavad rakendatud pingutusmomendi suurust.

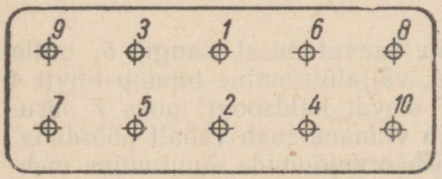
Vastutusrikaste keermesliidete koostamise tehnilistes tingimustes näidatakse ära mutrite ja poltide kinnikeeramisel rakendatavate pöördemomentide piirväärtused.

Mutrid ja poldid tuleb koostamisel kinni keerata kindlas järjekorras (näidatud joon. 116 ja 117). Ristkülikukujuliste liidetavate

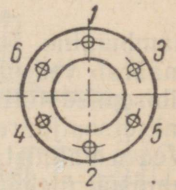
pindade puhul tuleb alustada poltide ja mutrite kinnikeeramist keskelt, mitte otstelt, kuna paigaldatava kaane küllalt suure pikkuse juures võib selle tasapinnalisuse hälve esile kutsuda kõverdumise. Poltide ja mutrite kinnikeeramine meelevaldses järjekorras võib samuti esile kutsuda kinnitatava detaili kõverdumise või viidakuse. Mutreid tuleb pingutada mitte ainult etteantud järjekorras, vaid ka järk-järgult, kahe-kolme võttega kuni täieliku pinguse saavutamiseni.

Polt- ja kruviliidete lihtsamate kinnitusviiside-juures kasutatakse individuaal- ja väikeseeriatootmises kasutatavaid mutrivõtmeid. Kuid see moodus on seotud suure ajakaoga ja ei taga pinguse ühtlust.

Keermesliidete kinnitusaega lühendatakse täiustatud käsiriistade rakendamisega. Sellisteks tööriistadeks on toruvõti, mida saab kasutada mutrite kinnikeeramiseks hästi ligipääsetavates kohtades,



Joon. 116. Ristkülikukujulise silindripea või kaane mutrite kinnikeeramise skeem; numbrid näitavad kinnikeeramise järjekorda

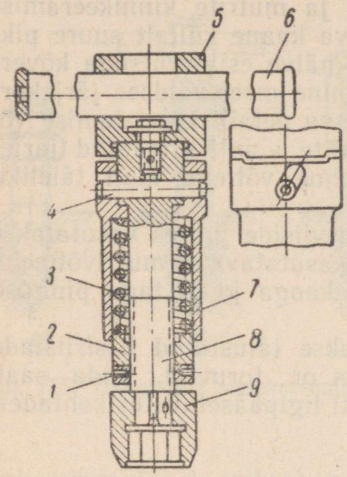


Joon. 117. Ääriku või ümmarguse kaane mutrite kinnikeeramise järjekorra skeem

puurivändaga toruvõti, mis lühendab veelgi mutri kinnikeeramise aega, liigendtoruvõti, mida kasutatakse juhul, kui ei sobi tavaline toruvõti, põrk- ja hõõrdmehhanismiga võti, mida kasutatakse samadel juhtudel ja ka pinguga istudega keermesliidete koostamisel, liigend-põrk-toruvõti, mida kasutatakse samadel juhtudel veelgi raskemini ligipääsetavates kohtades. Selliseid tööriistu kasutatakse seeriatootmises.

Etteantud kinnitusmomendi tagamiseks kasutatakse tareeritud (piirmomendi) võtmeid.

Joon. 118 on näidatud tareeritav toruvõti. Vardale *8* on kinnitatud võtmepea *9*; varras *8* on tihvti *4* abil ühendatud puksiga *7*, pöörraga *6* varustatud pea *5* on kruvi abil ühendatud vardaga *8*, puksiga *7* aga otshammastega, mida hoiab hambumises vedru *3*; vedru pinget saab reguleerida mutritega *1* ja *2*; otshammaste



Joon. 118. Tareeritav toruvõti

hambumine katkeb etteantud jõu saavutamisel kangil *6*, mille määrab vedrule *3* antud eelpinge; väljalülitumine toimub tihvti *4* libisemise tõttu mööda puksis *7* olevat kaldsoont; puks *7* surutakse sealjuures peast *5* eemale ja viimane saab vabalt pöörduda. Vedru valmistamise ebatäpsus ja hõõrdejõudude muutumine mehhanismi ülekandelülides tingivad tegeliku pingutusmomendi hälbe etteantud nimimomendist piires 10 ... 15%.

Dünamomeetrilisel võtmel on skaala ja osuti, millega saab määrata pingutusmomendi suurust. Enamasti esineb nendes võtmetes elastne element, mida tööprotsessis painutatakse või väänatakse. Selle elemendi deformatsiooni suurus määrab rakendatava momendi suuruse. Võrreldes piirmomendivõtmetega võimaldavad dünamomeetrilised võtmed saavutada ühtlasemat pingutamist. Suurte momentide piirkonnas ei ületa hälve etteantud nimimomendist $\pm$ 5%. Momendi vähenedes suureneb hälve ühe ja sellesama võtme juures kuni $\pm$ 15% ja rohkem.

Täpsemat eelpingestamise suurust on võimalik saada mutri täiendaval pööramisel etteantud nurga võrra (pealeasetatava graduseeritud ketta järgi) ja ka tikkpoldi või poldi pikenemise mõõtmisel erikruvimõõdikuga.

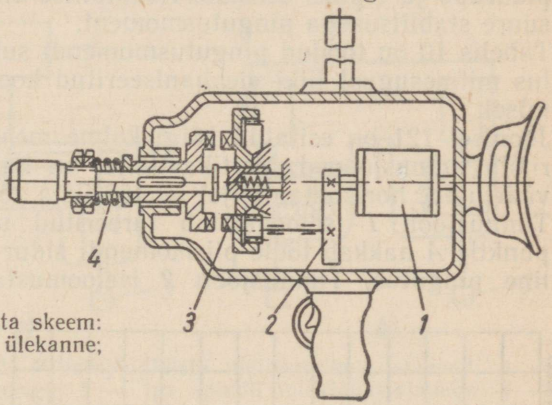
Polt- ja kruviliidete koostamise mehhaniseerimiseks mass-, suurseeria- ja seeriatootmises, samuti töö kergendamiseks raskemasinaehituses rakendatakse elektrilisi ja pneumaatilisi tööriistu. Need kiirendavad tunduvalt keermesliidete koostamist ja tõstavad koostamise kvaliteeti.

Pöördemomendi ülekande põhimõtte järgi jaotatakse mehhaniseeritud koostamisriistad kolme liiki.

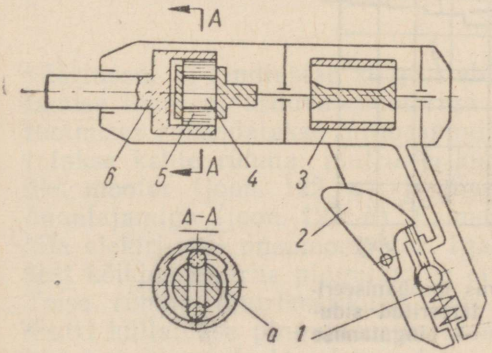
Esimesse liiki kuuluvad reduktoriga ja piirmomendi siduriga tööriistad. Nendel tööriistadel võib olla elektriline või pneumaatiline ajam.

Joonisel 119 on näidatud elektrilise käsiriista skeem. Spindlile asetatavate otsikute vahetamine muudab mehhaniseeritud tööriista kasutusala. Toruvõtme kasutamisel saame mutrikeeriku, tikkpoldihaaraja kasutamisel — tikkpoldikeeriku, lameotsiku kasutamisel — kruvitsa. Kui liite etteantud pingutusmoment on saavutatud, nihkuvad kaldpindsete otshammastega siduripooled laiali, ületades selle momendi järgi reguleeritud vedru survejõu. Reaktiivmomendi tasakaalustab töötaja. Mootori poolt arendatavat pöördemomenti suurendatakse pöörlemiskiirust vähendava reduktoriga. Liidete pingutusmoment kujuneb siduri omaduste tõttu ebaühtlaseks. Kiirekäiguliste elektrimootorite (10000 ... 12000 p/min) kasutamine võimaldab vähendada tööriistade kaalu võimsusühikule.

Nende elektrimootorite toiteks kasutatakse kõrgendatud sagedusega (180 ... 200 Hz) voolu, mis nõuab eriliste sagedusmuundite



Joon. 119. Elektrilise käsiriista skeem: *1* — elektrimootor; *2* — ülekanne; *3* — sidur; *4* — spindel



Joon. 120. Impulss-lööktoimega pneumaatilise mutrikeeriku skeem: *1, 2* — käivitusseade; *3* — pneumaatiline rootormootor; *4* — pide; *5* — rullid; *6* — spindel

rakendamist. Ohutuse tagamiseks maandatakse elektriliste tööriistade korpused läbi ühendusjuhtmes paikneva lisajuhtme.

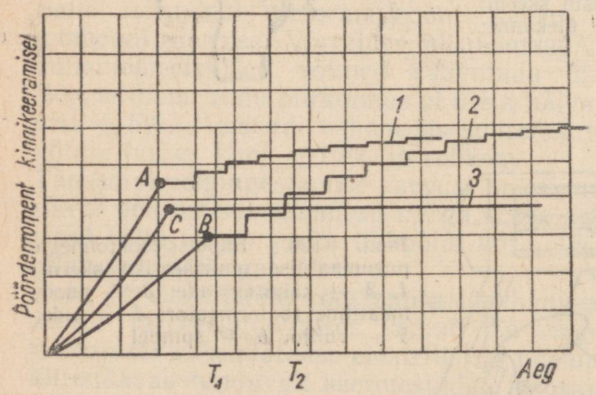
Teise liiki kuuluvad pneumaatilised ja elektrilised impulss-lööktoimega tööriistad. Joonisel 120 on näidatud reverseeritava, impulss-lööktoimega pneumaatilise mutrikeeriku skeem. Lülitusmehhanismi *1, 2* abil juhitakse suruõhk pneumaatilisse rootormootorisse *3*. Mootori võll pöörab pidet *4*, milles asuvad rullid *5*. Viimased põrkavad pideme pöörlemisel vastu spindli *6* astmeid ja annavad neile löökimpulsid, mis tagavad keermesliite vajaliku pingutusmomendi. Seda tüüpi mutrikeerikud võivad töötada ilma reduktorita. Reaktiivmoment ei kandu töötaja kätele. Selliseid tööriistu rakendatakse sageli remonditöödel, kus on vaja keermesliiteid tihti koostada ja lahti võtta.

Kolmandasse liiki kuuluvad ilma piirmomendi sidurita pneumaatilised koostamisriistad. Sellist tüüpi pneumaatilise mutrikeerikuga töötamisel keermesliite pingutusastme suurenemisel mootor pidurdub ja lõpuks seiskub. Konstantse õhusurve korral saadakse suure stabiilsusega pingutusmoment.

Tabelis 10 on toodud pingutusmomendi suhtelise ebaühtluse võrdlus mitmesugust liiki mehhaniseeritud koostamisriistade rakendamisel.

Joonisel 121 on esitatud kõigi kolme mehhaniseeritud koostamisriista tunnusjooned. Vertikaalteljel on kujutatud pöördemomendi väärtused, horisontaalteljel — tööriista töötamise aeg.

Tunnusjoon *1* iseloomustab tareeritud siduriga tööriista tööd; punktis *A* hakkab tööle piirmomendi sidur ja edasi toimub astmeline pingutus. Tunnusjoon *2* iseloomustab impulss-lööktoimega



Joon. 121. Pingutusmomendi olenevus mehhaniseeritud koostamisriista tööajast: *1* — tareeritud siduriga; *2* — impulss-lööktoimega; *3* — pingutamise lõpul pidurduva mootoriga

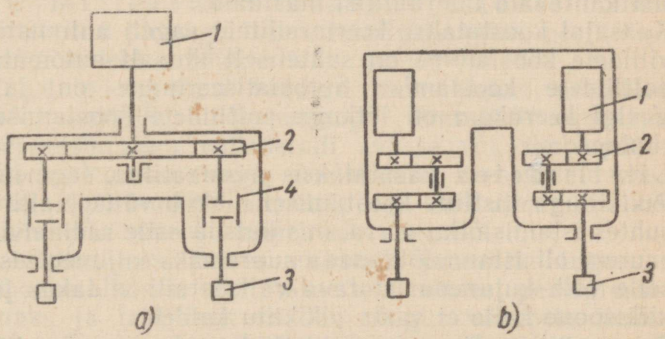
Tabel 10

Keermesliidete pingutusmomendi suhteline ebaühtlus

Jrk. nr.	Tööriista liik	Pingutusmomendi suhteline ebaühtlus
1.	Mootori peatamisega kinnitamise lõpul	±0,08...0,11
2.	Tareeritud siduriga	±0,16
3.	Impulss-lööktoimega	±0,18

tööriista tööd; kuni punktini *B* pööratakse mutrit või kruvi vabalt, seejärel lülitub impulss-lööktoimega mehhanism ja pingutamine toimub samuti astmeliselt. Tunnusjoon *3* iseloomustab pingutamise lõpul pidurduva mootoriga tööriista. Punktis *C* spindel peatub ja pingutusmoment jääb muutumatuks.

Jooniselt 121 selgub, et tööriista tööaja muutumisel väärtuselt T_1



Joon. 122. Mitmespindliliste mutrikeerikute skeemid: *a* — ühe mootoriga; *b* — iga spindli individuaalajamiga: *1* — mootor; *2* — reduktor; *3* — toruvõti; *4* — tareeritud sidur

väärtuseni T_2 kindlustab kõige stabiilsema pöördemomendi pingutamise lõpul pidurduva mootoriga tööriist. Mass- ja suurseeriatootmises rakendatakse mitmespindlilisi mutrikeerikuid; need jaotatakse kahte rühma: mutrikeerikud, kus kõiki spindleid pöörab üks mootor (joon. 122, *a*), ja mutrikeerikud iga spindli individuaalajamiga (joon. 122, *b*). Esimese rühma mutrikeerikutel võib olla elektri- või pneumomootor. Igal spindlil on tareeritud sidur, sest kõikide mutrite pingutamine ei toimu üheaegselt.

Teise rühma mutrikeerikutel pole selliseid sidureid. Olenevalt mutri küllaldase pingutusastme saavutamise momendist pidurduvad pneumomootorid eri aegadel.

Keermesliidete koostamisel kantavate mitmespindliliste mutrikeerikutega tasakaalustub reaktiivmoment mutrikeeriku korpuses ja koostatava sõlme lähtedetailis. Statsionaarset tüüpi mitmespindlilistes mutrikeerikutes võetakse reaktiivmoment vastu eriliste juhtseadmetega.

Mitmespindlilised mutrikeerikud koostatakse tavaliselt normaliseeritud sõlmedest.

Mitmespindlilisi mutrikeerikuid rakendatakse tavaliselt keermesliidete paiknemise korral koostatava toote ühel küljel. Juhul kui tikkpoldid või poldid paiknevad eri külgedel, võib koostada vastavaid mitmespindliliste mutrikeerikutega eriseadmeid.

Töötamise hõlbustamiseks ja töötaja väsimuse vähendamiseks riputatakse mutrikeerik erilisele vedruplokile. Pidevalt liikuval konveieril toimuva voolkoostamise puhul kinnitatakse vedruplokid vankrikestele, mis liiguvad monorelsil.

Raskemasinaehituses kasutatakse keermesliidete koostamisel erilisi kantavaid hüdraulilisi masinaid.

Kaasajal koostatakse keermesliiteid sageli automatiseeritult. Kruviliidete koostamine on suhteliselt lihtsalt automatiseeritav, tikkpoltliidete koostamise automatiseerimine on juba keerukam. Veelgi keerukam on lõtkuga poltliidete koostamise automatiseerimine.

L i i s t l i i d e t e s kasutatakse prismaatilisi, segment- ja kiilliiste. Pikikiiluga liistliite koostamisel nihkub välisdetaili telg võlli telje suhtes istamislõtku võrra, mis kutsub esile radiaalviskumise. Mida suurem oli istamislõtk, seda suuremaks kujuneb viskumine. Peale selle võib kujuneda istatava välisdetaili viidakus juhul, kui selle kiilusoone kalle ei vasta pikikiilu kaldele.

Prismaatilistes ja segmentliistliidetes koostatakse liist võlliga pinguga, mis vastab vähemalt tihe-istule. Liistu viidakuse vältimiseks tuleb liist võlli pesasse istata eriti hoolikalt.

Prismaatilisele või segmentliistule istamisel peab jääma liistu ülemise pinna ja välisdetaili soone põhja vahele lõtk; sel juhul tagatakse välisdetaili tsentreerimine.

Liistu paigaldamise viidakust ja väljaulatuse kõrgust saab kontrollida liistu väljaulatuva osa külgpindade järgi pealeasetatud prismaga ja lehtkaliibrite komplektiga.

L i i k u m a t u d h a m m a s l i i t e d jaotatakse tsentreerivate elementide istu järgi raskesti lahtivõetavaiks ja kergesti lahtivõetavaiks. Raskesti lahtivõetavate liidete korral soovitatakse välisdetaili eelkuumutamist temperatuurini 80 ... 120° C. Pärast välisdetaili pealepressimist kontrollitakse selle viskumist võlli paigutamisel kontrollrakise tsentrite vahele. Kergesti lahtivõetavais liidetes ei nõua istamine suurte jõudude rakendamist. Sel juhul kontrollitakse peale välisdetaili viskumise ka selle kõiku-

mist. Õigesti koostatud liites pole kõikumine ega välis- ja sisedetaili suhteline pöördumine (käega pööramisel) lubatav.
Sageli kasutatakse silindriliste liidete asemel liikumatuid koonusliiteid. Need liited kindlustavad hea tsentreerimise. Koonusliite tihedus ja vajalik pingus saadakse väliskoonuse pealepressimisel sisekoonusele.
Koonusliite koostamine algab sobiva välisdetaili valikuga võlli koonuse järgi. Kontrollitakse kõikumist (värviga) ja väliskoonuse istamise sügavust võllile. Ava otstel esinevad lõtkud ja välisdetaili kõikumine põhjustavad detailide telgnihkumist või viidakust.
Tihvtliidetes kasutatakse koonus- ja silindertihvte. Tihvte ei rakendata ainult liidetes, vaid ka fikseerimiselementidena, mis määravad detailide vastastikuse asendi.
Koonustihvtliidete korral on otstarbekohane puurida ja hõõritseda tihvti ava koostamisel.
Liikumatute mittelahtivõetavate liidete hulka kuuluvad garanteeritud pinguga liited, laialivaltsimise, neetimise, jootmise ja liimimise teel saadud liited.
Garanteeritud pinguga liited koostatakse pressidel või kaasdetailide soojusliku mõjutamisega. Pressliide saadakse sisedetaili sissepressimisega välisdetaili avasse või, ümberpöördult, välisdetaili pealepressimisega sisedetailile. Pressliidete vastupidavus suurtele koormustele oleneb pingu suurusest, mis on põhiliseks pressimisjõu suurust määravaks teguriks.
Kõrgema pinnasilediusklassi juures suureneb pressliite tugevus; suurte mikrokonaruste korral muljutakse osa nendest pealepressimisel madalamaks ja faktiliselt saadav pingus väheneb. Sellepärast töödeldakse istamispinnad mitte alla 6. ... 7. klassi pinnakaredusega.
Väikeste tihvtide, kiilude, liistude jms. sissepressimine võib toimuda pehmest materjalist vasara löökidega. Suuremate pressimisjõudude saamiseks rakendatakse mitmesuguseid presse: käsi-kruvipresse [jõud 20 kN (2000 kG)], hammaslatt-kangpresse [jõud 10...15 kN (1000...1500 kG)], pedaal-pendelpresse [jõud 3...5 kN (300...500 kG)], pneumaatilisi presse [jõud 30...50 kN (3000...5000 kG)], ajamiga kruvi- ja hammaslattpresse [jõud 50...100 kN (5000...10 000 kG)], hüdraulilisi ja pneumohüdraulilisi presse [jõud üle 100 kN (10 000 kG)]. Pressi nimijõud valitakse pealepressimise jõu järgi, arvestades varutegurit, mille väärtus võetakse 1,5...2,0.
Juhul kui lähtedetaili kuju ja mõõtmed ei luba teda asetada pressi töölauale, võib pressida tungrauaga, kruviklambriga või kraanaga pealeasetatava raskusega. Real juhtudel kasutatakse kantavaid presse ja mitut tüüpi klambreid.

Garanteeritud pinguga liidete automatiseeritud koostamist rakendatakse peamiselt väikeste mõõtmetega ja lihtsa kujuga puksi-, sõrme-, tihvti- jt. tüüpi detailide puhul. Need detailid antakse tavaliselt ette punkrist ja nad suunduvad edasi koostamisautomaadi tööpositsiooni.

Garanteeritud pinguga liidete koostamiskvaliteeti kontrollitakse pealepressimise jõu järgi. Vastutusrikaste liidete koostamisel (näiteks raudtee veerevkoosseisu rattapaarid) saadakse pealepressimisjõu muutuse diagramm, mis on selle liite passiks.

Kaasdetailide soojusliku mõjutamisega saadud istud annavad 1,5...2 korda suurema liitetugevuse kui tavalised press-istud, sest sel juhul mikrokonarusi madalamaks ei muljuta ja nad haakuvad üksteisega. Seetõttu võib istamispindu töödelda vähem hoolikalt. Kuum-iste on otstarbekas kasutada suure läbimõõduga ja väikese pikkusega liidetes (raudtee veerevkoosseisu rattabandaažid, hammasvõõd jms.), kui pressil istamisel võib tekkida ebakõllaldase juhtimise tõttu viidakus, samuti õhukeseseinaliste välisdetailide puhul.

Soojusliku mõjutamisega koostamist võib teostada nii välisdetaili üldise kui ka kohaliku kuumutamisega. Esimest kuumutusviisi kasutatakse väikeste ja keskmiste mõõtmetega detailide puhul (suurim detail — auruturbiini ketas). Sel juhul kuumutatakse õli- või veevannis, induktsioonseadmega või gaasileegiga. Suuregabariidiliste detailide (tööpinkide sängid, suure võimsusega elektrimootorite kilbid jt.) puhul kuumutatakse istamisavalähedast materjalitsooni gaasileegiga, elektrispiraalidega seadmega või kõrgsagedusvoolu induktoriga. Vastavalt nõutavale pingule kõigub kuumutustemperatuur laiades piirides — 75°...450° C. Kuumutamise aeg ja intensiivsus määratakse katseliselt.

Automaatkoostamisel toimub detailide kuumutamine konveieriga tunnelahjudes. Paksuseinaliste rõngaste tüüpi detaile kuumutatakse tööstuslikul sagedusel töötavate induktsioonseadmetega, mida on lihtne ehitada automaatliinidesse.

Suuregabariidiliste detailide kuumutamine nõuab palju aega ja on real juhtudel seotud suurte raskustega; siis kasutatakse välisdetaili kuumutamise asemel sisedetailide jahutamist.

Sisedetaili jahutamisega teostataval koostamisel on rida eeliseid. Jahutamisel ei muutu metalli lähtestruktuur ega füüsikalis-mehaanikalised omadused. Sisedetailide jahutamise aeg on väiksem (eriti õhukeseseinalistel detailidel) kui välisdetailide kuumutamise aeg.

Pukside ja hülsside jahutamisega toimuval istamisel on võimalik peaaegu täielikult vältida nende deformeerumist. See võimaldab detaile koostada ilma järgneva sisetreimiseta. Jahutatakse vedelas lämmastikus (temperatuur —195,8° C) või denatureeritud pii-

rituse ja kuiva jää vannis (temperatuur —78,5° C). Sel juhul on 1 kg terasdetailide jahutamise orienteeriv maksumus 2...3 kopikat.

Kuiva jää kasutamisel on vajalikud lihtsad ja odavad seadmed — hea soojusisolatsiooniga (šlakk- või klaasvatt, mipoor) vannid. Seda meetodit rakendatakse väikeseeriatootmises. Suure programmi korral kasutatakse külmutusmasinaid.

Automaatkoostamisel on otstarbekohane jahutada sisedetaile nende läbijuhtimisega konveieriga külmutusseadmest.

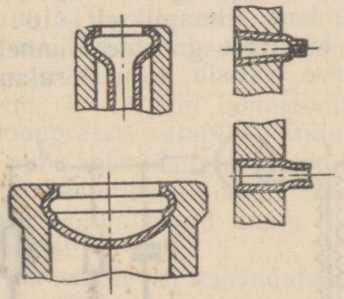
Soojusliku mõjutamisega toimuval liidete koostamisel on vaja rangelt täita ohutustehnika eeskirju.

Juhul kui nõutav pingus ületab sisedetaili jahutamisel tekkiva kahanemise, võib täiendavalt kuumutada välisdetaili.

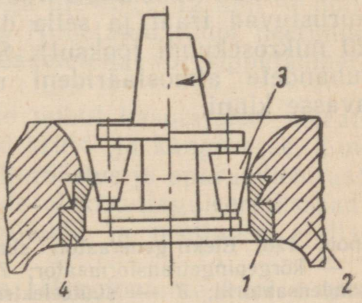
Soojusliku mõjutamisega koostamisel kasutatakse erilisi rakiseid, mis võimaldavad õiget paigaldamist ja kõrvaldavad ka kaasdetailide deformeerumise ja viidakuse. Detailide paremaks juhtimiseks tuleb kokkupuutuvatele pindadele kujundada faasid või silindrilised juhtvööd.

Pindade sööbimise vältimiseks ja pealepressimisjõudude vähendamiseks kasutatakse mineraalmäärdeainet või molübdeendisulfiidi. Kõrgendatud temperatuuridel töötavate liidete koostamisel (auruturbiini ketta istamine võllile) pole ülalnimetatud määrdeainete kasutamine soovitatav, sest järgneval mahapressimisel võib tekkida sööbimine. Sel juhul kaetakse võllikael grafiiti sisaldava erimäärdega. Garanteeritud pinguga liidete lahtivõtmisel rakendatakse tõmmitsaid; lahtivõtmise hõlbustamiseks kujundatakse detailidele vastavad elemendid.

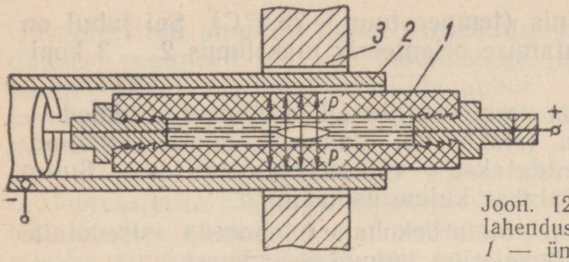
L a i a l i v a l t s i m i s t kasutatakse hermeetiliste liidete koostamisel.



Joon. 123. Laialivaltsimisega saadavad tüüpliited



Joon. 124. Klapipesa laialivaltsimise skeem: *1* — pesadetail valtsimise lõpul; *2* — lähtedetail; *3* — koonilised valtsimisrullid; *4* — painutatava servaga pesadetail valtsimise algul



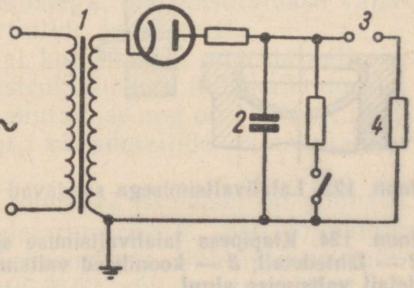
Joon. 125. Kõrgepingelise elektrilise lahendusega laialivaltsimise skeem: *1* — ümbris; *2* — toru; *3* — torulaud

Sealjuures suurendatakse tavaliselt sisedetaili läbimõõtu erilise tööriista — valtspea poolt tekitatud survejõu toimel. Joonisel 123 on näidatud mõned tüüpilised laialivaltsimisega saadud liited.

Klapipesa valtsimise skeem on esitatud joonisel 124. Laialivaltsimist tehakse puurpinkidel, revolverpinkidel ja eripinkidel ning -seadmetel, samuti käsitsi. Valtsimise kiirus on 15...20 m/min. Servad valtsitakse maha sisevaltsidega, pressidel või pneumaatiliste väikevasaratega.

Viimasel ajal on hakatud torude laialivaltsimiseks kasutama suure energiaga impulsstoimet. See annab võimaluse protsessi tootlikkuse ja laialivaltsimise kvaliteedi tõstmiseks. Sellise meetodiga võib kõrgepingelise elektrilise lahenduse toimel torusid laiali valtsida torulaudades (joon. 125). Elektrilise lahenduse momendil tekib vedelikus lööklaine, mis deformeerib paksuseinalist kummitoru *1*. Lahenduse toimel tekkiv lööklaine mõjub läbi kummitoru jõuga *P* toru *2* seintele ja valtsib selle torulauda kinni.

Torude laialivaltsimiseks kasutatakse ka «plahvatava traadi» meetodit, kus traat ühendatakse elektrienergia allikaga (joon. 126). Vabalt torulaua sisse asetatud torusse paigutatakse traadiga varras. Suure võimsusega vooluimpulsi toimel (pinge 5...10 kV) aurustuvad traat ja selle dielektriline kate silmapilkselt (10...20 mikrosekundi jooksul). Sealjuures tekkivate gaaside kümnete tuhandete atmosfäärideni ulatuv surve valtsib toru torulaua avasse kinni.



Joon. 126. Elektrigeneraatori skeem: *1* — kõrgepingetransformaator; *2* — kondensaatorid; *3* — süüteelektrood; *4* — plahvatav traat

Automaatkoostamisel tehakse valtsimisoperatsioone pressidel ning erilistel pool- ja täisautomaatidel. Kaasdetailide pinnad puhastatakse neile vajaliku nurga all pealejuhitava suruõhujoaga. Suruõhu sisse- ja väljalülitamine toimub automaatselt. Automaatkoostamise tsüklisse kuulub ka koostatud toodete hermeetilisuse pneumaatiline või hüdrauliline kontroll.

Neetimist kasutatakse detailide tugevaks ja hermeetiliseks liitmiseks. Keevitustehnoloogia arenedes neetliidete osatähtsus järkjärgult väheneb. Needitakse neil juhtudel, kui koostatavate detailide kuumutamine on ebasoovitav (kuullaagrite separaatorid, elektri- ja teiste aparaatide sõlmed, autode raamid, lamevedrude kinnitamine, termiliselt töödeldud detailide koostamine), samuti eri liiki materjalidest detailide koostamisel (teras-malm, metall-plastmass), mille keevitamine ja jootmine on raskendatud, liimimine aga ei taga küllaldast tugevust.

Neetimisel kasutatakse mitmesuguse peakujuga standardseid neete ja erineete (ööonsad, torukujulised). Raskesti ligipääsetavates kohtades (kitsaste täiteavadega reservuaaride koostamine) needitakse lõhkeneetidega või neetidega, mida saab kinnitada ühelt küljelt (nn. pimeneetimine).

Needitakse kuumalt või külmalt. Kuumalt needitakse üle 14 ... 20 mm läbimõõduga neete. Kuumneetimisel kuumutatakse neete 1000 ... 1100° C, neetimine lõpeb temperatuuril 450 ... 500° C. Sellest temperatuurist allapoole kaotab metall plastsuse ja muutub sinirabedaks. Needitakse kas löökidega või staatilise jõu rakendamisega.

Suure töömahu korral neetimine mehhaniseeritakse; selleks kasutatakse pneumaatilisi neetimisvasaraid, neetimisklambreid ja neetimismasinaid.

3 ... 5 mm kuni 10 ... 12 mm läbimõõduga neetide puhul kasutatakse pneumaatilisi presse, läbimõõduga üle 10 ... 12 mm — hüdraulilisi ja pneumohüdraulilisi presse. Nimetatud tüüpi neetimispresse kasutatakse statsionaarsete seadmetena või rippklamberpressidena.

Kuni 3 ... 4 mm läbimõõduga neetide puhul kasutatakse vibratsioonpresse, samuti inimjõul töötavaid kruvi- ja kangpresse, kuni 1 mm läbimõõduga neetide korral (kellatööstus ja aparaadiehitus) aga neetimise solenoidmasinaid. Nende elektronreguleerimisseadmed võimaldavad saada täpset löögijõudu ja neetimise ajalist kestust.

Külmneetimisel rakendatakse pool- ja täisautomaate kuni 4 mm läbimõõduga neetide puhul; ühe needi neetimisaeg on umbes 0,5 s. Pressidel neetimisel kulub ühele needile umbes 3 s.

Kuumneetimisel peab olema pressi jõud (tonnides) mitte alla $10F$, külmneetimisel $25F$, kus F — needi varre ristlõikepind-

Tabel 11

Põhiliste keevitusmeetodite iseloomustus

Keevitusmeetod	Keevitatavate sõlmede materjal	Keevitatavate elementide soovitatav paksus mm või ristlõikepindala	Keevisliite tüüp	Elementide puhastamise viis enne keevitamist
1	2	3	4	5
Käsielektrikaarkeevitus metallelektroodiga	Teras, malm, alumiiniumisulamid	$\geqslant 1{,}5 \ldots 2$	Põkkliide, ülekatteliide, äärisliide, vastakliide	Terasharjaga puhastamine
Automaatkeevitus räbusti all	Teras	$> 2 \ldots 2{,}5$	Põkkliide, ülekatteliide, äärisliide, vastakliide	Terasharjaga või gaasileegiga töötlemine
Elektrikaarkeevitus süsielektroodiga	Väikese süsinikusisaldusega teras alumiinium, vask	$\leqslant 4$ $\leqslant 12$	Põkkliide, äärisliide	Terasharjaga puhastamine
Argoonkaarkeevitus	Roostevaba teras, alumiiniumi- ja magneesiumisulamid	$\leqslant 4$	Põkkliide, vastakliide, äärisliide	Sama
Atomaarvesinik-keevitus	Legeeritud terased	$\leqslant 8$	Põkkliide, vastakliide, äärisliide	Sama
Gaaskeevitus	Teras, malm, alumiiniumi- ja vasesulamid, kõvasulamid	$\leqslant 2$	Põkkliide, vastakliide, äärisliide	Sama
Gaas-survekeevitus	Teras	$\leqslant 10$ $\leqslant 25\,000$ cm^2	Põkkliide, äärisliide	Otspindade mehaaniline töötlemine

Tabel 11 (järg)

1	2	3	4	5
Kontaktpõkksulakeevitus	Teras ja alumiiniumisulamid	⩽ 25 000 cm²	Põkkliide	Terasharjaga puhastamine
Kontaktpõkktakistuskeevitus	Teras, alumiiniumi- ja vasesulamid	Latid läbimõõduga ⩽ 10 mm	Põkkliide	Otspindade mehaaniline töötlemine
Punktkeevitus	Väikese süsinikusisaldusega legeeritud teras roostevaba teras alumiiniumisulamid vasesulamid	⩽ 12 ⩽ 10 ⩽ 6 ⩽ 2,5	Ülekatteliide	Külmvaltsitud — puhastamata, kuumvaltsitud — söövitamine, haavlipritsiga või mehaaniline töötlemine
Joonkeevitus	Samad materjalid	⩽ 1,5 ... 2	„	Haavlipritsiga või mehaaniline töötlemine
Hõõrdkeevitus	Süsinikteras, legeeritud teras, värvilised sulamid	Ümar- ja torudetailid läbimõõduga 30 ... 40 mm	Põkkliide	Terasharjaga puhastamine, haavlipritsiga töötlemine
Elektri-räbukeevitus	Süsinik- ja legeeritud teras	20 ... 600 ja rohkem	Põkkliide	Sama
Kondensaatorkeevitus (punkt- ja joonkeevitus)	Süsinikteras, legeeritud teras ja roostevaba teras	0,03 ... 0,6	Ülekatteliide	Hoolikas puhastamine ja rasvatustamine pole tingimata tarvilik
Ultrahelikeevitus	Homogeensed ja heterogeensed metallid ja sulamid	0,05 ... 0,6	„	Sama
Elektronkiirega keevitus vaakuumis	Keemiliselt aktiivsed ja raskesti sulavad metallid ja sulamid	⩽ 10 ... 15	Põkkliide	Sama

ala cm². Raskesti ligipääsetavates kohtades kasutatavate lõhkeneetide korral on neetimise töömahukus tavaliste neetidega võrreldes 2,5 korda väiksem, kuid kaal ja staatiline tugevus vähenevad 20% võrra.

Keevitamist kasutatakse kaasaegses masinaehituses järjest laialdasemalt. Keevitamine annab tunduvat materjali kokkuhoidu ja vähendab märksa sõlmede ja toodete valmistamise töömahtu. Erilised elektrikeevitusaparaadid lülitatakse tavaliselt detailide töötlemise üldisesse vooluliini mehaanikatsehhis. Keevitamiseks tuleb ühendatavaile detailidele anda õige asend ja nad ajutiselt kinnitada. Liite õigsust kontrollitakse rihtimisega või rakisesse paigaldamisega. Olenevalt sõlme elementide materjalist, mõõtmetest ja konstruktiivsetest iseärasustest kasutatakse mitmesuguseid keevitusmeetodeid (tabel 11). Keevisõmblusi kontrollitakse ГОСТ 3242-54 järgi.

Peale tabelis 11 toodud keevitusmeetodite on viimasel ajal kasutusele võetud uued meetodid, nagu plasma-, kvant- ja difusioonkeevitus. Plasmakeevitus on suhteliselt lihtne ega nõua keerukaid seadmeid. Keevituspead on universaalsed (kasutatavad lõikamiseks, sulatamiseks jne.) ja võimaldavad keevitada kiirusega 40 m/h ja rohkem. Kvantkeevitus ei jää kvaliteedilt maha elektronkiirega keevitamisest ja tal on viimase suhtes kaks olulist eelist: vaakuumi mittevajalikkus kiire läbiminekutsoonis ja kaugkeevitamise võimalus, näiteks kõrge radioaktiivsusega ruumides. Vaakuumis toimuva difusioonkeevitusega võib ühendada mitte ainult metalle, vaid ka keraamilisi materjale ja metalle keraamiliste materjalidega. Selle keevitusmeetodi eelised on madal temperatuur, ühendatavate detailide väike kokkusurumisjõud ja oksüdeerumise puudumine.

Keevitada saab ka termoplastseid plastmasse; termoreaktiivsed plastmassid ei keevitu ühegi teadaoleva meetodi järgi.

Levinumaid termoplastsete plastmasside keevitusmeetodeid on gaasiliste soojuskandjatega keevitamine, kuumutuselementidega, kõrgsagedusvooluga ja ultraheliga keevitamine.

Gaasiliste soojuskandjatega keevitamisel kuumutatakse keevitatavaid detaile soojendatud õhuga, lämmastikuga, argooniga, inertse gaasiga jt. Soojuskandja temperatuur peab olema 30...50° C kõrgem põhimaterjali sulamistemperatuurist. Vinüülplasti keevitatakse kuuma õhu joas lisavardaga. Varrast ja õmbluse seinu kuumutatakse 190...200° C-ni. Termoplast pehmeneb ja omandab kleepuvuse. Polüpropüleenlehti keevitatakse kuni 280° C kuumutatud inertse gaasi joas. Selliselt võib keevitada ka polüamiidist detaile.

Orgaanilisest klaasist, vinüülplastist, polüstüroolist ja polüetüleenist lehtede ja detailide keevitamine toimub kuumutuselemen-

diga kokkupuutel survega 200...1000 kN/m² (2...10 kG/cm²). Keevitamisel kujundatakse ülekatte-, põkk- või kaldlõikeliide. Olenevalt materjalist, survest ja teistest teguritest ulatub keevitustemperatuur 120...240°C. Vastava temperatuuri ja surve juures tuleb keevituskohta hoida materjali paksuse iga mm kohta umbes 1 min.

Kõrgsagedusvooluga keevitamine annab liite kõrge kvaliteedi ja on ülalkäsitletud meetoditest tootlikum. Seda kasutatakse polükloorvinüülplastikaadist toodete, vinüülplastist torude ja polüetüleenist toodete valmistamisel. Kõrgsagedusvooluga keevitamise puuduseks on liidetavate detailide piiratud paksus (mitte üle 5 mm).

Ultraheliga keevitatakse järgmisi plastmassiliike: orgaaniline klaas, vinüülplast, polüetüleen, kloorvinüül, polüstürool. Keevitatavate detailide paksus võib olla kuni 10 mm. See on väga tootlik meetod. Näiteks kulub vinüülplastist detailide (summaarne paksus 10 mm) ühes punktis keevitamiseks aega 0,7 sekundit.

Keevisliiteid saab automaatselt koostada mitme meetodi järgi. Keevitusprotsesse saab sisse viia ka koostamise automaatliinidesse.

Metallide *jootmiseks* nimetatakse liiteprotsessi, mille juures kuumutatud, kuid tahkesse olekusse jäävate detailide vahele viiakse sulatatud joodis, mis märgab nende pinda ja kinnitab liidetavad detailid omavahel peale jahtumist ja kõvenemist. Tänu sulamistemperatuuril toimuvale liidetavate detailide heale märgumisele ja kapillaarsusnähete esinemisele tungib sulatatud joodis ühendavasse õmblusesse ja moodustab peale tardumist joodisest tugevama sulami.

Eristatakse kõvajoodistega (hõbe-, vask- ja nikkelalusel) ja pehmejoodistega (plii-tina sulamid) jootmist. Kõvajoodiste sulamistemperatuur on üle 550°C ja tõmbetugevus kuni 500 MN/m² (50 kG/mm²). Pehmejoodistel on sulamistemperatuur alla 400°C ja tõmbetugevus 50...70 MN/m² (5...7 kG/mm²).

Jootmisel kasutatakse mitmesuguseid räbusteid; nende koostis oleneb liidetavate detailide materjalist, joodisest ja jootmismeetodist. Liite kvaliteet tõuseb taandavas keskkonnas jootmisel, neutraalsetes gaasides (näiteks argoon) ja vaakuumis jootmisel. Neutraalses keskkonnas kulgevas protsessis ei teki liidetavate detailide pindadel hapendeid, mis tagab nende parema märgumise sulatatud joodisega. Jootmine toimub liidetavate detailide kohaliku või üldkuumutamisega.

Individuaal- ja väikeseeriatootmises kasutatakse laialdaselt jootetõlviku soojuskontaktiga ja gaasipõletiga kuumutamisega jootmise meetodeid; suurseeria- ja masstootmises kuumutatakse

detaile vannides ja leekahjudes, samuti rakendatakse laialdaselt elektrilist kuumutamist.

Käesoleval ajal juurutatakse paljudes tehastes mitmesuguseid jootmise mehhaniseerimise vahendeid, kaasa arvatud ka induktsioonkuumutus.

Metallide ja mittemetalsete materjalide jootmise tehnoloogias osutub perspektiivseks ultraheli kasutamine. Eriti mugav on see meetod alumiiniumist ja alumiiniumisulamitest detailide jootmisel, kuna sulatatud joodise kõrge sagedusega (20 000 Hz) võnkumine hävitab oksiidikile ja jootmine toimub räbustita. Joodistena kasutatakse tina-tsingi sulameid (tina 80...98%), tina-kaadmiumi sulameid või kaadmiumi-tsingi sulameid.

Alumiiniumisulameid võib joota peale ultraheli kasutamisel põhineva meetodi ka pealehõõrumisega. Pealehõõrumisega jootmine seisneb liidetavate detailide kuumutamises joodise sulamistemperatuurini, joodise pealekandmises jootekohale, joodisekihi all tekkiva oksiidikile purustamises ja eemaldamises terasharja või viili terava otsaga. Seejärel kantakse peale joodise ülejäänud osa.

Alumiiniumisulameid joodetakse ka keemiliste reagentidega, kusjuures detailid kuumutatakse ette. Detailide pinnale kantakse räbusti (tinakloriid, tsinkkloriid, kaaliumkloriid ja teised soolad). 350...400° C juures reageerivad need soolad oksiidikilega, mille tulemusena jootmiskohal eraldub tina või mõni teine kasutatud soolas esinev metall. Samaaegselt räbusti sulamisega viiakse pinnale joodis ja jaotatakse see ühtlaselt liite pinnale.

Aparaadiehituses kasutatakse trükitud skeemide valmistamisel suure tootlikkusega mehhaniseeritud grupijootmist, mille juures joodis kantakse peale lainena. Joodise laine tekitatakse mehaanilise või induktsioonpumbaga. Sellise jootmise tootlikkus on 20 korda suurem kui tavalise soojuskontaktiga meetodi puhul.

Liimimine võimaldab liita eri liiki materjale, vähendada toodete kaalu, saavutada liimõmbluse hermeetilisust ja korrosioonikindlust ja sageli vähendada toodete omahinda. Võrreldes keevis-, joote- ja neetliidetega annavad liimliited liidetavates materjalides ühtlase pingete jaotuse ega kutsu esile kõmeldumist.

Liimliited töötavad hästi nihkele ja ühtlasele äratõmbele (lahtirebimisele), halvasti — ebaühtlasele äratõmbele. Liimliited taluvad hästi dünaamilisi ja vahelduvkoormusi.

Liimliidete puuduseks on nende vähene kuumakindlus (enamiku liimide juures ei ületa see +90° C), roomavusele kalduvus suurte staatiliste koormuste pikemaajalisel toimel ja pikk tahkestumisaeg.

Kodu- ja välismaine tööstus toodab rohkesti liime metallide ja mittemetalsete materjalide liitmiseks. Need võib jaotada järgmistesse põhigruppidesse.

1. Liimid epoksüvaikude baasil — kasutatakse metallide, keraamika, plastmasside, puidu ja teiste materjalide külmalt ja kuumalt liitmiseks. Külmalt tahkestuvaid liime valmistatakse vaigust ЭД-5 või ЭД-6 (100 kaaluosa) ja polüetüleenpolüamiintahkestist (8...10 kaaluosa) või tsükloheksaandiamiin kahjamisjääktahkestist (20 kaaluosa). Kuumalt tahkestuvate liimide valmistamiseks lisatakse vaigule tahkestit — maleiinanhüdriidi (40 kaaluosa). Terase liimimisel terasega ulatub nihketugevus 35...40 MN/m² (350 ... 400 kG/cm²). Kuumuspüsivus ei ületa +90° C. Liimliited saadakse tavaliselt ilma surveta. Lehtmaterjalist detailide liimimisel nõutakse väikest survet — 50...100 kN/m² (0,5...1 kG/cm²). Kuumalt tahkestuvat liimi võib hoida suletud nõus pikemat aega. Külmalt tahkestuv liim valmistatakse tarvitamise eel, kuna see on kasutatav 30...40 minuti jooksul. Epoksüvaikude baasil on välja töötatud kuumalt ja külmalt tahkestuvad liimid ВК-32-ЭМ, epoksüüd П ja epoksüüd ПР; Л-4 jt. Välismaal tuntakse liime araldiit, EPON, EPIKOT jt.

2. Liimid fenoolvaikude baasil — modifitseeritud mitmesuguste koostistega. Tahkestumine toimub temperatuuril 150° C detailide kokkusurumisega. БФ-tüüpi liime toodetakse tarvitamisvalmitena. Neile pole vaja lisada tahkestit. Soojuskindlus pole üle +70° C, nihketugevus on terase liimimisel terasega 25...30 MN/m² (250...300 kG/cm²). Fenool-kautšukliimil (näiteks liim ВК-32-200) ja fenoolvaigu alusel, orgaaniliste polümeeridega ja räni-orgaaniliste ühenditega modifitseeritud liimidel on suur soojuskindlus. 20° C juures ulatub nihketugevus 20 MN/m² (200 kG/cm²), 250...300° C juures — 5...8 MN/m² (50...80 kG/cm²).

3. Polüuretaanliimil (näiteks liimil ЛУ-2) on soojuskindlus 100...120° C ja БФ-liimidega võrdne tugevus.

4. Eriliimidel on kõrgendatud soojuskindlus, mis ulatub 500° C ja üle selle. Nihketugevus on 60...70 MN/m² (600...700 kG/cm²) ja enam.

Detailide liimitavad pinnad puhastatakse ja rasvatustatakse ja mõnel juhul liimi parema nakke saamiseks karestatakse mehaaniliselt või keemiliselt. Peale liimliidete kasutatakse tänapäeval ka kombineeritud liiteid — liim-keevisliiteid, liim-neetliiteid jt.

Liikuvaid liiteid saadakse lõtkuga istude rakendamisel: liug-ist, liike-ist, käigu-ist, kergekäigu-ist ja vabakäigu-ist.

Liikuvaid mittelahtivõetavaid liiteid kasutatakse piiratud ulatuses. Liikuvate mittelahtivõetavate liidete näitena võib nimetada mittelahtivõetavaid veerelaagreid.

Garanteeritud lõtkuga liidete koostamine ei tekita erilisi raskusi, kui istamisel on tagatud välisdetaili kindel suunamine. Nende liidete koostamine on suhteliselt kergesti automatiseeritav.

5. PINGIVÄLISED OPERATSIOONID

Pingivälised operatsioonid — tootmisobjektide peale- ja mahalaadimine, transport, laooperatsioonid ja laastude eemaldamine — avaldavad tunduval määral mõju tootmis- ja tehnoloogiliste protsesside töömahukusele. Detailide halvasti organiseeritud transport suurendab seadmete seisuaega töötlemisel ja koostamisel. Halvasti organiseeritud laomajandus takistab üksikute töökohtade ja voolu- ning automaatliinide sektsioonide rütmilist toitmist. Laastude pideva mehhaniseeritud eemaldamiseta mustub tootmispind ja suureneb traumatism.

Suhteliselt suur abitööliste arv ja puudused abiprotsesside organiseerimises avaldavad mõju tööviljakusele. Abiteenistuste tehniliste seadmete ja töö organiseerimise täiustamine, esmajärjekorras laadimis-transporditööde osas, on oluliseks tingimuseks tööviljakuse tõstmisel.

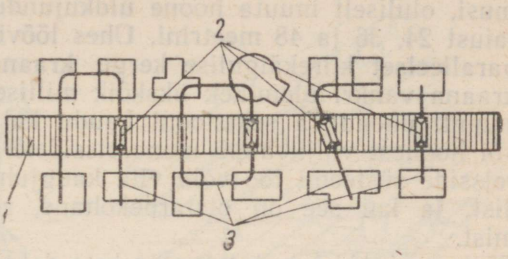
Varem automatiseeriti ja mehhaniseeriti peamiselt tehnoloogilisi protsesse. Praegusel ajal automatiseeritakse ja mehhaniseeritakse kogu tootmisprotsess tervikuna. Viimase 10...15 aasta jooksul kasutuselevõetud tõste-transpordimasinad ja -seadmed täiustavad oluliselt toorikute, detailide ja sõlmede transportimise tehnilisi vahendeid ja organiseerimist ning kõrgendavad tootmise üldist organisatsioonilis-tehnilist taset.

Vaatleme kahe tähtsama tõste-transpordimasinate grupi mõningaid konstruktiivseid iseärasusi nende mehaanika-koostamistsehhide vooluliinides kasutamise seisukohalt.

Esimesse gruppi kuuluvad töödeldavate detailide ja koostatavate sõlmede vertikaalse ümberpaigutamise tõstemasinad. Teise grupi moodustavad toodete operatsioonidevahelise ümberpaigutamise transpordiseadmed vooluliinil.

Tõstemasinate hulka kuuluvad pöördkraanad, pneumotõstukid, mittejäiga riputusega monorelsil liikuvad elektritelferid ja pikisuunas nihutatavad ühe pendelteega talakraanad.

Kaldnoolega pöördkraana kinnitatakse sageli tööpingi korpuse külge. Kraana noole otsale riputatakse elektritelfer, pneumotõstuk või tali. Keskmiste mõõtmetega masinatest koosnevatel vooluliinidel töödeldakse tavaliselt detaile massiga kuni 100 kg. Tõstemasinatena kasutatakse sel juhul edukalt telfereid tõstejõuga 50, 100, 200, 250 ja 500 kG ja rohkem, mitte eriti suure tootlikkusega grupivooluliinidel — talakraanasid. Detailide väikesearvulisel tootmisel võib üks elektritelfer teenindada kolme ja isegi nelja pinki. Monorelsil on plaanis L või U kuju või suletud, ümmarguste nurkadega ristküliku kuju (joon. 127). Monorelss paigutatakse põrandast 3,5...4,5 m kõrgusele. Mittejäik ülesriputus lubab monorelssi kallutada kõrvale 500...750 mm.



Joon. 127. Mitmesugused monorelsside paigutamise viisid vooluliini pinkide kohal: *1* — rulltee; *2* — elektritelfer; *3* — monorelsside trassid

Ühe elektritelferiga teenindatavate pinkide arv n määratakse detailide paigaldamis- ja eemaldamisaja t_p ja liini takti t järgi; $nt_p < t$, kust

$$n < \frac{t}{t_p}$$

või vastavalt

$$n = k\frac{t}{t_p}, \qquad (79)$$

kus k — tegur, mille väärtuse võib praktikast saadud andmete alusel võtta 0,35 ... 0,5.

Samasuguseks efektiivseks tõste-transpordiseadmeks on ripp-talakraana. Seda kasutatakse vooluliinidel, mille takt on üle 8 ... 10 min.

Talakraana riputatakse alumisele kraanateele samasuguste vankritega nagu elektritelfer, kuid veidi suurema ratastevahelise kaugusega (800 ... 1600 mm). Talakraana elektritelfer tõstab ja langetab lasti. Ripp-talakraana tõstevõime on 100 ... 2000 kG, sõiduröobaste vahekaugus on 3 ... 10 m. Töötlemise või koostamise vooluliinil kasutatakse kahte-kolme talakraanat. Ripp-talakraana kraanatee võib paigaldada ilma sammasteta ruumidesse, mille kõrgus on üle 4 m, igasuguse katuse alla. See lubab neid rakendada mehaanika-koostamistsehhi igas osas.

Käesoleval ajal on programmjuhtimisega tõstemasinaid, mis võimaldavad detaile ja sõlmi (sealhulgas raskeid, massiga 5 ... 10 t) toimetada kuni 60 m laiuse lööviga tsehhi meelevaldsesse punkti.

Mitmetoelised rippkraanad ja talakraanad tõrjuvad tavalised, konsoolsetel kraanateedel liikuvad sildkraanad välja. Need võimaldavad tunduvalt vähendada esialgseid kulutusi, tänu metallkonstruktsioonide kaalu vähenemisele 2 ... 4 korda ning ehituskulude alanemisele 15 ... 20% seoses hoone kõrguse ja mahu vähenemisega.

Mitmetoeliste rippkraanade kasutamine lubab parendada töötingi-

musi, oluliselt muuta hoone üldkujundust ja suurendada löövide laiust 24, 36 ja 48 meetrini. Ühes löövis võib üles riputada mitu paralleelset kiirekäigulise kerge kraana juhtteed. On võimalik kraana vankri üleminek ükskõik millisele kraanale antud löövis, samuti ühendava sektsiooni kaudu ka naaberlöövide kraanadele või hoonest väljuvatele monorelssidele. Kogu kraanade ja monorelsside süsteemi töö võib viia kaugjuhtimisele tsentraalsest puldist, ja kui see on otstarbekohane, rakendada programmjuhtimist.

Tõstemasinaid kasutatakse raskete detailide ja sõlmede töötlemise ja koostamise juures vooluliinidel. Operatsioonidevahelised transpordimasinad ja -seadmed on vooluliinidel vajalikud mitte ainult raskete, vaid ka kergete detailide puhul.

Ilma operatsioonidevaheliste transpordiseadmeteta ei saa vooluliini seadmeid efektiivselt kasutada. Sellepärast kuuluvad transpordiseadmed vooluliini vajaliku varustuse hulka niisamuti nagu rakised töötlemisel ja koostamisel. Vooluliinidel kasutatakse mitmesuguseid operatsioonidevahelisi transpordiseadmeid: rullteid, liugteid, renne, kärusid, konveiereid (ripp-, tõuke-, kett-, plaat-, lint- ja karussellkonveierid). Ent need pole kõik ühteviisi efektiivsed. Operatsioonidevahelised transpordiseadmed peavad tagama kindla, seisakuteta ja kiire detailide ning sõlmede üleviimise ühelt töökohalt teisele.

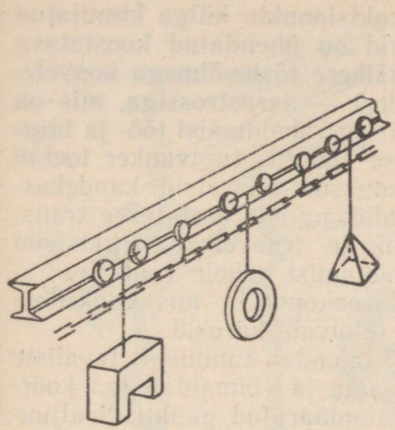
Enam levinud ja mugavaks operatsioonidevaheliseks transpordiseadmeks on rulltee. Rullteede asetus oleneb vooluliini pikkusest ja koormuste vooluse suunast tsehhis. Läbikäikude kohal on rullteedel kõrvalekallutatavad sektsioonid, hargnemiskohtadel — pööratavad sektsioonid.

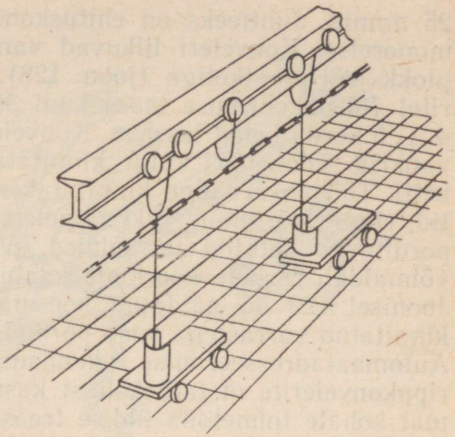
Üherealisi rullteid kasutatakse toodetele massiga kuni 850 kg, kaherealisi — toodetele massiga kuni 1500 kg. Rullteede rullide konstruktsioon on normaliseeritud. Nende läbimõõdud on 73, 105 ja 155 mm. Rulli läbimõõt D valitakse vastavalt ühele rullile rakendatud koormusjõule P, mis võetakse üherealiste rullteede puhul 70% ja kaherealiste puhul 40% toote kaalust.

Praktiliselt valitakse D vastavalt P suurusele järgmiselt:

P kN(kG)	6(600)	12(1200)	25(2500)
D mm	73	105	155

Rulltee rullide samm on tavaliselt 100, 150 ja 200 mm, kusjuures see peab olema 0,2 ... 0,25 osa töödeldava või koostatava toote pikkusest. Väikesed võlli-, hammasratta-, toendi-, piduriklotsi- jt. tüüpi detailid asetatakse lamedatele alustele ja need nihkuvad rullteel detailidega koos. Alused liiguvad tagasi mööda teist, esi-





Joon. 128. Koormusi kandva rippkonveieri skeem

Joon. 129. Koormusi tõukava rippkonveieri skeem

mese alla paigutatud rullteed. Raskete toodete edasinihutamise hõlbustamiseks kasutatakse koormuse liikumise suunas 2 . . . 4°-se kaldega rullteid.

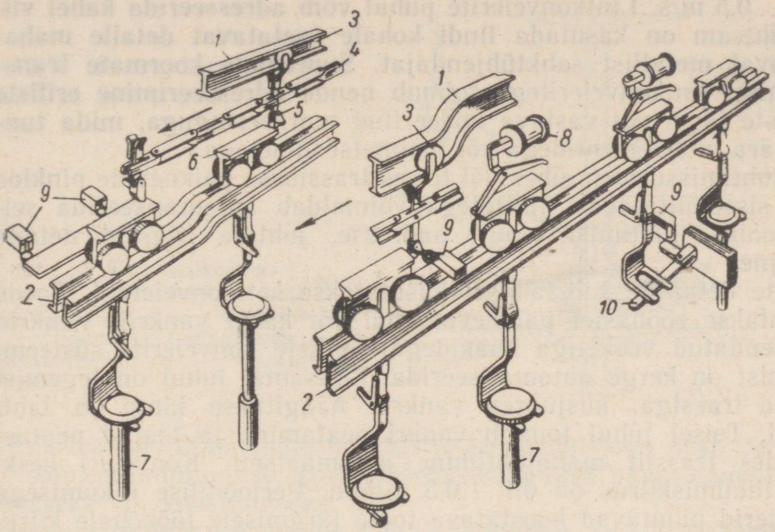
Efektiivseteks operatsioonidevahelisteks transpordiseadmeteks on ka liugteed ja rennid. Keskmiste ja suurte mõõtmetega detailide korral paigutatakse liugteed vooluliini töökohtadevahelise läbikäigu suunas ja selle keskele. Rennide ja liugteede kaldasendi tõttu liiguvad nendele asetatud detailid ettenähtud suunas.

Lõiketöötlemisel kuumeneb töödeldav detail ja selle edasine töötlemine pole real juhtudel lubatav, kuna ei saavutataks vajalikku täpsust. Operatsioonidevaheliste transpordiseadmete, rullteede, liugteede ja rennide kasutamine võimaldab detailidel liikumise ajal jahtuda normaaltemperatuurini. Peale selle on need seadmed omamoodi vaheladudeks.

Väikeseeriatootmises kasutatakse detailide käsitsinihutamiseks kärusid. Kasutatakse ka metallestakaade, mille ülemistel juhikutel liiguvad koormusega vankrid, alumistel — tühjad vankrid tagasi alguskohta. Suurte sõlmede koostamisel ja üldkoostamisel rakendatakse stendvankreid. Nendel vankritel on liikuv ülaosa, mis võimaldab seada koostamisobjekti koostajale mugavasse asendisse.

Mehaanika-koostamistsehhides kasutatakse suure tootmisprogrammi puhul detailide ja sõlmede transportimiseks rippkonveiereid. Rippkonveieri trass on sageli ruumiline. Ühe konveieriga võib teenindada paljusid töökohti. Rippkonveierite kiirus on kuni

25 m/min. Juhtteeks on ehituskonstruktsioonide külge kinnitatud monorelss. Konveieri liikuvad vankrid on ühendatud koostatava plokk- või plaatketiga (joon. 128), väikese tõstevõimega konveieritel (üksikkoormuse mass kuni 30 kg) — terastrossiga, mis on 4 . . . 6 korda ketist kergem. Konveieril on vaheldumisi töö- ja tugivankrid. Töövankri külge kinnitatakse koorem, tugivanker toetab ketti. Töövankri külge kinnitatakse konksud, haaratsid, kandekastid, riiulid või muud liiki rippelemendid, millele asetatakse transporditavad detailid ja sõlmed. Vankrite traaverskonstruktsioon võimaldab raskete koormate kaalu jaotamist kahele vankrile.
Joonisel 129 on näidatud koormate veokonveier, mis vankritele kinnitatud varrastega veab põrandal liikuvaid kärusid.
Automaatadresseerimise rakendamine laiendab tunduvalt tavaliste rippkonveierite otstarbekohast kasutusala ja võimaldab iga koormat kohale toimetada üldise trassi ettemääratud punkti. Sealjuures likvideeritakse üldised mahalaadimiskohad, kust detailid veetakse või kantakse käsitsi laiali. Sellega langeb ära 2 . . . 3 käsitsi tehtavat operatsiooni. Selektiivne mahalaadimine nõuab mõningaid muudatusi rippkonveieri trassi paigaldamisel ja selle viimist töökohtadeni. Adresseerimist teostatakse rippkonveieritel tihvt- või kontaktivaba süsteemiga. Seda saab teha ka lihtsamate vahenditega — reguleerimisrataste ja -rullidega, mis teevad rippaluse piduri lahti ja kallutavad alust ettepoole või peale- ja mahalaadimissuunas.
Transpordioperatsioonide mehhaniseerimise progressiivseks suunaks on ka automaatse adresseerimisega tõukekonveierite kasutamine (joon. 130). Rippaluse vankrid ei ole kinnitatud veoketi külge, vaid need nihkuvad edasi tõukavate nukkide toimel. Vajalikel kohtadel võib neid vankreid peatada (nuki ülestõstmisega) ja üle viia teisele trassile. Riputatud koormate sundadresseerimine toimub alumise koormatrassi pööranguseadmetega. Selektoritüüpi aadress-seadmed toimivad lõpplülititele, rakendavad automaatselt pööranguseadmete elektromagneteid ja seavad pööranguid vajalikku asendisse. Kasutatakse ka perfokaartide ja fotoelementidega aadress-seadmeid.
Rippkonveierite puuduseks on õige suur töökulu peale- ja mahalaadimisel. Need tööd on ratsionaalselt mehhaniseeritud ühes tehases, kus detailid transporditakse koostamiskohale järgmise skeemi järgi. Mehaanikatsehhidest saabuvad valmisdetailid lattu standardtaaras ja need paigutatakse riiulitele riidastamistõstukitega. Koostamisele saatmiseks võtab sama tõstuk riiulilt ühed või teised detailid ja asetab need tõstetavale lauale. Sellelt haarab nad rippkonveier ja viib koostamisosakondadesse, kus toimub automaatne mahalaadimine. Abikonveieri ja talakraanaga nihutatakse detailid edasi ja asetatakse koostamisliini töökohtade riiulitele.



Joon. 130. Tõukekonveieri kahe osa skeem: vasakul osakonda sisenemine; paremal osakonnast väljumine; *1* — veotrass; *2* — koormustrass; *3* — vanker; *4* — kett; *5* — tõukav nukk; *6* — rippseadmega vanker; *7* — transporditav toode; *8* — pneumaatilised eraldid; *9* — teekonnalülitid; *10* — eraldi sisselülimisnukk

Uljanovski Autotehases on sõlmede üldkoostamisele etteandva tõukekonveieri häireteta toimiseks koostamiskoha vahetus läheduses rida küllaldase mahuga rippkonveierladusid. Pea-koostamiskonveieril on need rippkonveierlaod paigutatud neljale korrusele: esimene põhiline töötsoon — koostamiskonveierid ripp-elektritööriistadega kuni 3 m kõrguseni; teine tsoon — konveierid ja esining tagasildade rippkonveierlaod — paiknevad 3 kuni 6 m kõrgusel; kolmas tsoon — konveierid ja kerede ning kabiinide rippkonveierlaod — paiknevad 6 kuni 10 m kõrgusel; neljas tsoon — kelder konveierite ja rippkonveierladudega paikneb põranda all 4 m sügavusel.

Erilist lähtamist mittevajavate sõlmede koostamisel kasutatakse tehnoloogilisi plaatkonveiereid. Nende kandva osa moodustavad metallplaadid, mille laius võrdub veoketi sammuga. Operatsioonidevaheliste plaatkonveierite kasutamine koos automaatadresseerimisega tõstab abitööde mahu vähenemise tõttu tööviljakust ja võimaldab paindlikumalt organiseerida seeriatootmist.

Väikeste ja kergete detailide transportimiseks kasutatakse lintkonveiereid. Kandevelemendina kasutatakse 200 ... 800 mm laiust kummeeritud tekstiillinti (ГОСТ 20-62). Lindi liikumise kiirus on

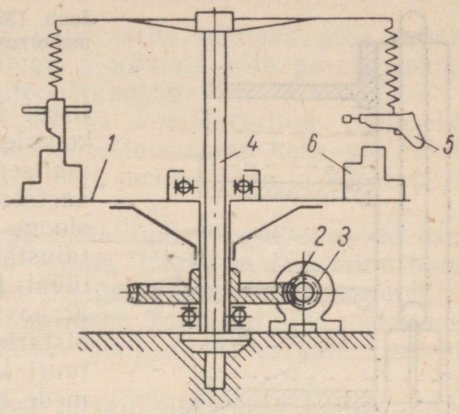
0,02 ... 0,5 m/s. Lintkonveierite puhul võib adresseerida kahel viisil. Lihtsam on kasutada lindi kohale asetatavat detaile mahapaiskavat metallist sahktühjendajat. Suuremate koormate transportimisel lintkonveieritega toimub nende adresseerimine eriliste tunnuste järgi või vastava kodeeritud markeeringuga, mida tuntakse ära fotoelementidega või magnetseadmetega.
Kaugjuhtimissüsteem ühes või teises trassiosas paiknevate pinkide poolt sisselülitatavate toitjatega võimaldab automatiseerida sellise vooluse juhtimist, muuta aadresse, juhtida liigseid detaile lattu jne.
Raskete detailide koostamisel kasutatakse kettkonveiereid. Toode koostatakse rööbastel paikneval ühel või kahel vankril. Vankrid on ühendatud veoketiga haakidega. Selliste konveierite süsteemi juhtimist on kerge automatiseerida. Lihtsamal juhul on tegemist suletud trassiga, kusjuures vankrid haagitakse kinni ja lahti käsitsi. Teisel juhul toimub vankri peatamine ja teatud peatuskohtades trassilt mahajuhtimine automaatselt. Konveieri keskmine liikumiskiirus on 0,1 ... 0,5 m/min. Perioodilise liikumisega konveierid nihutavad koostatava toote järgmisele töökohale kiirusega 4 ... 5 m/min.
Konveieri ajami elektrimootori võimsus

$$N = \frac{W_0 v}{102 \eta_m} \text{ kW}, \tag{80}$$

kus W_0 — vajalik kettide tõmbejõud N (kG);
v — keti kiirus m/s;
η_m — kasutegur suurusega 0,4 ... 0,5.
Vajalik kettide tõmbejõud

$$W_0 = L\eta(q + q_0), \tag{81}$$

kus L — konveieri pikkus m;
η — veoketi liigendite ja rullide takistust arvestav tegur suurusega 0,066 ... 0,07;
q — koostatavate objektide kaalust tulev koormus konveieri pikkuse 1 meetrile;
q_0 — veoketi töö- ja tühiosa kaalust tulev koormus [150 ... 400 N/m (15 ... 40 kg/m)].
Keskmises masinaehituses kasutatakse väheste koostamisoperatsioonidega sõlmede koostamisel karussellkonveiereid. Ümara pöördlaua keskele (joon. 131) liikumatu toe külge riputatakse koostamisriistad, ketta ümbermõõdu ulatuses mahutatakse neli kuni kaheksa töökohta. Need konveierid paigutatakse pea-koostamiskonveieri lähedale, et nendel koostatud sõlmi võiks vahetult üle anda toote lõppkoostamisele.



Joon. 131. Karussellkonveieri skeem: *1* — ümmargune laud; *2* — tiguülekanne; *3* — elektrimootor; *4* — liikumatu tugisammas; *5* — koostamisriist; *6* — koostatavad sõlmed

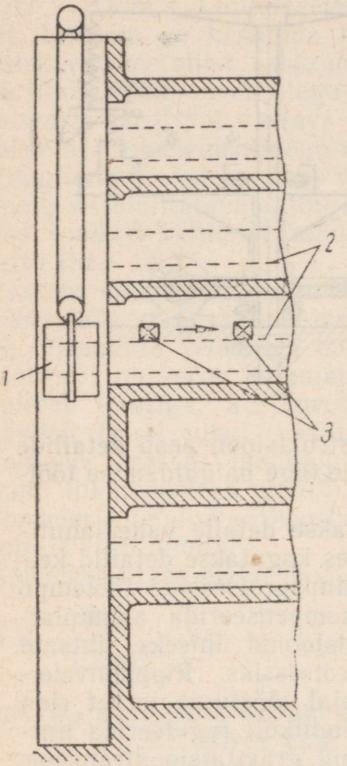
Tõste-transpordimasinate haaratsite konstruktsioon peab detailide ja sõlmede nihutamisel kindlustama nende õige paigaldamise töötlemiseks või koostamiseks.

Pidevate tootmisprotsesside puhul kogutakse detaile vahemahutitesse. Jäikade sidemetega automaatliinides kogutakse detailid keerukatesse ja kallitesse kogujatesse. Tootmisprotsesside töötempo kõikumisi võimaldavad tasandada ja kompenseerida akumulatsioonikonveierid. Need ühendavad operatsioonid ühiseks, lihtsate vahenditega automaatselt juhitavaks protsessiks. Rippkonveierladude kõrval juurutatakse käesoleval ajal tööstusse tervet rida lihtsaid mehhanisme, mille abil saab paindlikult reguleerida lintkonveiereid, samuti juhtida mitmesuguseid gravitatsioontransporditeadmeid.

Lihtsaim tüüp on juhtimisele mittealluv kaldrulltee, mida soovitatakse kasutada kuni 5 m pikkuse nihketeekonna ja kuni 100... 150 kg massiga koormate puhul, kuna ühe kindla kaldenurga juures liiguvad kerged ja rasked koormad erinevalt (koormad võivad kokku põrgata, peatuda jne.).

Progressiivseks konstruktsiooniks on ajamiga rullkonveier, kus kanderullide alla on paigutatud veolint. See on kõige odavam konveier, mille töö võib mitmesuguste juhtimiselementide rakendamisega täielikult automatiseerida. Selline konveier tagab kindla liikumise ja detailide ettenähtud vahekaugused, võimaldab liikuvaid koormaid sorteerida ja adresseerida, nihutada detaile ühises automaattsüklis vertikaaltõstukitega, riidastada jne. Kergete koormate kogumiseks võib rakendada tavalisi lintkonveiereid, kus detailide peatumise korral tekib üksteise vastu põrkamine ja libisemine, samuti vibrokonveiereid, kuna koormate peatumine ei häiri nende tööd.

Laomajandus jääb veel põhiliste tehnoloogiliste protsesside tehni-



Joon. 132. Tõstukite ja kettkonveieritega mitmekorruselise lao skeem

lisest tasemest maha. See pidurdab kompleksse mehhaniseerimise ja automatiseerimise arengut. Viimastel aastatel automatiseeriti laooperatsioone rippseadmete rakendamise ja täiustamisega, mis tugines tõuketüüpi konveierite suurte võimaluste ärakasutamisele. Ent need laod on otstarbekohased väikese nomenklatuuri korral suurte detailide ja sõlmede lühiajaliseks hoidmiseks.

Väikeste ja keskmiste mõõtmetega toodete hoidmiseks on tänapäeval automaatlaod. Nendes ladudes hoitakse tükk-koormaid transpordivahendeis: laosektsioonide plaat- ja rullkonveieritel (ajamiga ja ilma), kaldrennidel, rippteedel (koormate hoidmisel vankrites). Pakkidena hoitavate koormate hoidmiseks kasutatakse rullriiuleid. Lao paremaks kasutamiseks ehitatakse konveierid, rennid ja rippteed mitmekorruselistena.

Näiteks mitmekorruselises laos (joon. 132) rakendatakse koormate nihutamiseks vooluselist transpordisüsteemi. Lao teisele, neljandale, viiendale ja kuuendale korrusele on paigutatud alustel *3* paiknevate koormate nihutamiseks kettkonveierid *2*. Koormate korrustevaheliseks nihutamiseks on kahekorruselise kabiiniga tõstukid *1*. Selle mõlemal korrusel on ajamiga kettkonveierite lühikesed sektsioonid. Peale selle on vooluselisel transpordiliinil kasutusel 15 kettkonveiersektsiooni ja kahvellaadijad. Teisel korrusel paiknevad korruste lõpplülititega rakenduvad juhtimisreleed ja tsentraalne juhtimispult signaalreleede ja -lampide paneeliga. Neljandale, viiendale ja kuuendale korrusele on paigutatud signaalnupplülitid, mis toimivad juhtreleedele. Relee kontaktid on ühendatud signaalpaneeli lampidega, mis näitavad koormate asukohta.

Väikeste detailide hoidmiseks on mehhaniseeritud laod, mis kujutavad endast üksikutest pesadest koosnevaid riiuleid. Riiulite sektsioonide vahel liiguvad horisontaal- ja vertikaalsuunas van-

kertõstukid. Tõstuki kabiini vajalik asend nõutava pesa vastas määratakse signaal-nupplülititega. Koormaid võib pesast kabiini nihutada nii käsitsi kui ka autooperaatoriga.

Kaasaegsetes ladudes kasutatakse ka kombineeritud vooluselisi transpordisüsteeme. Neid süsteeme iseloomustab kahe või kolme magistraalkonveieri olemasolu, millel sorteeritakse ja koostatakse koormaid.

Kaasaegsed suure tootlikkusega metallilõikepingid annavad kiirlõikamisel kuni 100 kg laastu tunnis. Laastude tekkimine muudab tootmisprotsessi keerukaks. Kõige tülikam on terasdetailide treimisel tekkiv spiraalikeerdunud laast. Tolmukujuline malmlaast mustab rakiste paigalduselemente, põhjustades detailide paigaldushälbe suurenemist.

Kaasaegsed kõrge tootlikkusega metallilõikepingid kujundatakse laastude automaatset eemaldamist arvestades. Nii näiteks automaatliinidel töötlemisel puhutakse väikesed malmlaastud umbavadest automaatselt välja. Lihvpinkidel imetakse laast ära. Malmlaastud eemaldatakse automaatliini pinkide töötsoonist tigu- või lintkonveieritega. Ka kaasaegsete mitmespindliliste lattmaterjali töötlevate automaatide töötsoonist eemaldatakse laastud automaatselt tigukonveieriga. Laastude pinkidelt eemaldamise mehhaniseerimisel rakendatakse ka edasi-tagasi-liikumisega latt-kraapkonveiereid ja muid seadmeid.

Teraslaast peenendatakse mitmesuguse konstruktsiooniga laastumurdjatega. Sellist laastu on lõiketsoonist lihtne eemaldada. Malm- ja peenendatud teraslaastud juhitakse põrandaalustele lintkonveieritele, mis toimetavad need edasi põranda all paiknevale tsehhi üldkonveierile.

Peamiselt väikeste detailide valmistamisel kasutatakse seadmeid, mis eraldavad töödeldud detailid laastudest. Selleks otstarbeks kasutatakse näiteks lattmaterjali töötlevate mitmespindliliste automaattreipinkide juures liikuvaid eemaldamisrenne. Need rennid tuuakse detaili alla töötsükli lõpul. Kasutatakse ka liikumatuid eemaldamisrenne. Viimaste kuju väldib suurte laastude sattumist neisse, väikesed laastud langevad läbi renni võrekujulise aluspinna.

Käesoleval ajal kasutatakse laastude eemaldamiseks kraap-, inerts-, kruvi-, pneumaatilisi ja teisi konveiereid (joon. 133).

Joonisel 133, *a* on toodud kraapkonveieri skeem. Varda *1* liikumisel noolega *A* näidatud suunas nihutab kraap *2* laastu *3*. Varras-kraapkonveieritel on mehaanilised või hüdroajamid. Konveieri tootlikkus tunnis

$$Q = 3600 F_1 v \gamma \text{ T/h}, \qquad (82)$$

kus F_1 — renni ristlõike töötava osa pindala m²;

v — varda liikumiskiirus m/s, tavaliselt v = 8 m/min = = 0,133 m/s;
γ — laastude mahukaal T/m³.

Sirgjooneliselt liikuva renniga inertskonveierid (joon. 133, *b*) on lihtsamad ja suurema töökindlusega. Renn *1* toetub ratta *2* kaudu sirgjuhikutele *3*; tõmbevardaga *4* antakse rennile edasi-tagasi-liikumine.

Inertskonveieri tootlikkus

$$Q = 3600Bh\varphi\gamma v \text{ T/h}, \quad (83)$$

kus B — renni laius m;
h — renni kõrgus m;
γ — laastude mahukaal T/m³;
v — laastude keskmine liikumiskiirus rennil m/s (0,03 m/s);
φ — renni täitetegur ($\varphi \approx 0{,}5 \ldots 0{,}6$).

Kruvi- või tigukonveierid (joon. 133, *c*) koosnevad liikumatust rennist ja selle sees pöörlevast kruvist. Kruvikonveierite üldiseks puuduseks on väike laastuga täidetud ristlõikepinna osa. Ent ekspluatatsioonitingimustes on nad end hästi õigustanud.

Kruvikonveieri tootlikkus

$$Q = 0{,}1ntF\gamma km60 \text{ T/h}, \quad (84)$$

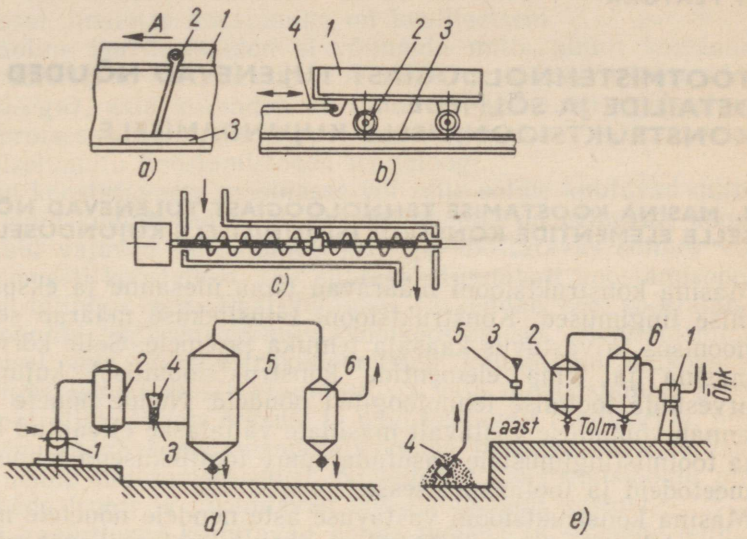
kus n — kruvi pöörlemiskiirus p/min;
t — kruvi samm m;
F — renni töötava osa ristlõikepindala m²;
γ — laastude mahukaal T/m³;
m — konveieri kruvide arv;
k — konveieri kaldenurka arvestav tegur ($k = 0{,}7 \ldots 1{,}0$).

Pneumotransporti kasutatakse peente laastude korral. Ventilaatorisüsteemiga pneumokonveierit (joon. 133, *d*) iseloomustab õhu liikumise tekitamine torujuhtmes ventilaatoriga *1*, mis töötab ülesurvel 30 ... 40 kN/m² (0,3 ... 0,4 kG/cm²). Surve ühtlustamiseks kasutatakse ressiivrit *2*; õhuvoolu kiirus ulatub 25 m/s.

Vaakuumisüsteemiga pneumokonveieri (joon. 133, *e*) iseärasuseks on laastude imemine punkrisse *2* vaakuumpumba *1* poolt tekitatud hõrenduse toimel. Kiirus sellises süsteemis ulatub 25 ... 35 m/s. Hõrendus on 55 kN/m² (0,55 kG/cm²).

Käesoleval ajal hakkab levima laastude eemaldamise hüdrauliline meetod. Laastude transportimine põrandaaluses kanalis toimub veesurvega. See transportimismeetod on töökindel ega nõua suuri kulutusi.

Metallilõikepinkidel töötamisel kasutatakse lõikeriista ja tööldava detaili jahutamiseks jahutusvedelikke emulsioonidena. Täpsete detailide töötlemisel kasutatakse real juhtudel rapsiõli, tehnilist päevalilleõli ja muid hinnalisi õlisid.



Joon. 133. Laastude eemaldamise transpordivahendite skeemid: *a* — kraapkonveier: *1* — varras; *2* — kraap; *3* — laast; *b* — inertskonveier: *1* — renn; *2* — ratas; *3* — sirgjuhikud; *4* — tõmbevarras; *c* — kruvikonveier; *d* — ventilaatorisüsteemiga pneumokonveier: *1* — ventilaator; *2* — ressiiver; *3* — lüüslukk; *4* — kolu; *5* — punker; *6* — filter; *e* — vaakuumsüsteemiga pneumokonveier; *1* — vaakuumpump; *2* — punker; *3* — kolu; *4* — düüs; *5* — siiber; *6* — filter

Emulsiooni eraldamiseks laastudest kasutatakse settenõu, mis asetatakse kaldu paigutatud põrandaaluse konveieri otsa alla. Settenõusse kogunev emulsioon filtreeritakse ja pumbatakse pinkide jahutussüsteemi tagasi. Rapsiõli, päevalille- ja teised õlid eraldatakse laastudest tsentrifuugides. See võimaldab korduvaks kasutamiseks tagastada 75 . . . 80% õli.

Briketeerimiseks sorteeritakse laastud mahukaalu järgi viide gruppi alates mahukaalust 2,0 (malm) kuni 0,15 T/m^3 (spiraalikeerdunud teraslaast). Laastud sorteeritakse ka töödeldava materjali markide järgi. Peened laastud sorteeritakse eriliste sõeltega, jämedad laastud peenendatakse vastavates masinates.

Brikette saadakse mitmesugusel viisil: pideva briketeerimisega avatud matriitsis, elektrobriketeerimisega, teraslaastude pakistamisega pakistamispressidel ja laastude briketeerimisega kõrge survega — 230 . . . 300 MN/m^2 (2300 . . . 3000 kG/cm^2). Viimane briketeerimisviis on kõige efektiivsem ja tootlikum. Valmisbriketid saadetakse metallurgiatehastesse.

IV PEATÜKK

TOOTMISTEHNOLOOGIAST TULENEVAD NÕUDED DETAILIDE JA SÕLMEDE KONSTRUKTSIOONILISELE KUJUNDAMISELE

1. MASINA KOOSTAMISE TEHNOLOOGIAST TULENEVAD NÕUDED SELLE ELEMENTIDE KONSTRUKTSIOONILISELE KUJUNDUSELE

Masina konstruktsiooni määravad tema ülesanne ja ekspluateerimise tingimused. Konstruktsiooni täiuslikkuse määrab selle ökonoomsus ja vastavus kaasaja tehnika tasemele. Selle kõrval tuleb masina ja tema elementide konstruktsioonilisel kujundamisel arvestada tootmise tehnoloogilisi nõudeid. Nende nõuete täitmine annab võimaluse vastavalt masinate väljalaske etteantud kogusele ja tootmistingimustele kasutada suure tootlikkusega tehnoloogilisi meetodeid ja tootmisprotsesse.

Masina konstruktsiooni vastavuse aste nendele nõuetele määrabki tema tehnoloogilisuse. Antud masina tehnoloogilisust võib teise masina suhtes hinnata nende töömahukuse, omahinna ja metallimahukuse kõrvutamisega. Täiendav hindamine toimub masina elementide unifitseerimise astme, nende vahetatavuse astme, kasutatud materjalide markide arvu, masina kaalu ja ka originaalsete detailide ning sõlmede konstruktsioonilise järgivuse taseme alusel.

Ühe ja sellesama masina tehnoloogilisus on erinev erinevate tootmisviiside jaoks. Toode, mis on küllalt tehnoloogiline individuaaltootmises, võib olla vähetehnoloogiline masstootmises ja täiesti ebatehnoloogiline automatiseeritud tootmise jaoks.

Põhilised nõuded, mis võimaldavad organiseerida suure tootlikkusega koostamisprotsesse, võib kindlaks määrata järgmiste kaalutluste alusel.

Masina konstruktsiooni üheks tehnoloogiliseks eeliseks on tema koostamise võimalus eelnevalt koostatud sõlmedest; sel juhul on võimalik sõlmede ja toote paralleelne koostamine, aga eelnevalt koostatud sõlmede olemasolul lüheneb tunduvalt üldkoostamise tsükli kestus.

Seega saame väga olulise tehnoloogilise eelise juhul, kui toote mehhanismid, mis on määratud nende talitlusliku ülesandega, on ühtlasi masina tehnoloogilisteks sõlmedeks, s. t. toote elementideks, mida võib koostada omaette ja sõltumatult masina teistest elementidest. Niisugune sõlm antakse toote või kõrgema järgu sõlme üldkoostamisele koostatult ja tehnilise kontrolli, kaasa arvatud katsetamine, kui see on nõutav, läbinult. Niisugustel tin-

gimustel on tunduvalt lihtsam vältida defektide ilmnemist üldkoostamisel, mistõttu koostamine on kvaliteetsem.

Toote taoline konstruktsioon ei võimalda mitte ainult koostada laial frondil (s. o. koostada masina sõlmi paralleelselt tema üldkoostamisega), vaid kiirendab ka tunduvalt koostamise tehnoloogiliste protsesside projekteerimist, mida sel juhul võivad teha paralleelselt mitu koostamistööde tehnoloogi.

Juhul kui koostatavasse masinasse või selle sõlme kuuluvad mitte sõlmed, vaid komplektid, s. o. elemendid, mis on eelnevalt koostatud, kuid vajavad lahtimonteerimist ja koostatavas sõlmes või masinas uuesti koostamist, siis suureneb tunduvalt koostamisoperatsiooni täitmise aeg. Real juhtudel raskendab see koostamisoperatsioonide sünkroniseerimist voolkoostamisel. Mehhanismide koostamisel, mis on konstruktsiooniliselt kujundatud üldkoostamise käigus liidetavatest detailidest, on vaja üldkoostamise protsessis kontrollida liidete õigsust ja neid vastavalt reguleerida, mis samuti suurendab koostamisoperatsioonide täitmise aega ja raskendab nende sünkroniseerimist. Niisugused konstruktsioonid piiravad tööde fronti ja pikendavad koostamistsükli kestust.

Esitatud kaalutlused kinnitavad nende toodete ja sõlmede tehnoloogilisi eeliseid, mille konstruktsiooniline kujundus näeb ette võimaluse jaotada koostamisprotsess sõlm- ja üldkoostamiseks. Erilise tähtsuse omandab see voolkoostamise korral.

Standardsete detailide ja sõlmede maksimaalne kasutamine võimaldab neid saada väljastpoolt. Üksikute sõlmede ja detailide normaliseerimine kindlustab nende väljalaske seerialisuse suurenemise ja järelikult tootmisprotsesside töömahukuse vähenemise ning omahinna alanemise. Detailide elementide — hammaste, keermete, soonte, nelikantide, faaside jms. unifitseerimine loob võimalused tööpingi seadistuste unifitseerimiseks ja nendele kulutatud aja vähendamiseks. Seepärast iseloomustab standardiseeritud elementide osatähtsus tootes tema konstruktsiooni tehnoloogilisust.

Koostatava sõlme elementide vastastikuse asendi nõutav täpsus saavutatakse kergemini neil juhtudel, kui koostamislähted on ühtlasi mõõteläheteks alusdetaili pindadele, mis ühenduvad koostatavasse sõlme kuuluvate detailidega. Paigaldus- ja mõõtelähte ühitamine kindlustab suurema töötlemistäpsuse. Seetõttu tuleb püüda selle poole, et koostamislähet saaks kasutada paigalduslähtena. Koostamis-, mõõte- ja paigalduslähte ühitamine kindlustab kõigi teiste tingimuste muutumatuse korral suurema koostamistäpsuse.

Konstruktsioon peab võimaldama küllaldaselt kasutada mehhaniseeritud koostamisvahendeid. Sel eesmärgil tuleb kindlustada mehhaniseeritud koostamisriistade vaba ja mugav juurdepääs

detailide ühenduskohtadele ja ette näha tõsteseadiste kasutamise võimalus detailide ja sõlmede paigaldamisel koostatavas tootes. Näiteks rasketel detailidel ja sõlmedel peab olema spetsiaalne rõngaspolt nende haaramiseks tõstmisel ja koostatavasse masinasse paigaldamisel, samuti koostamiskohale transportimisel. Koostamistööde mehhaniseerimine tõstab kõikide tootmistüüpide korral töötootlikkust tunduvalt.

Koostamisprotsesside mehhaniseerimise arenduseks on nende automatiseerimine, mida võib edukalt kasutada mitte ainult mass-, vaid ka seeriatootmises. Koostamisprotsesside automatiseerimine lubab arvestada töötootlikkuse tõusu 3 ... 15 korda. Nende tehnoloogiliste nõuete kõrval, mida esitab konstruktsioonile koostamisprotsesside mehhaniseerimine, nõuab automatiseerimise võimalikkus koostamisel liidetavate pindade ranget koordineerimist ja järelikult vastavaid konstruktsioonilisi lahendusi koostamislähte suhtes.

Esitatud kaalutluste kokkuvõtteks võib masinate koostamistehnoloogiast tulenevad põhinõuded nende elementide konstruktsioonilisele kujundusele sõnastada järgmiselt:

1) luua konstruktsioonid võimaluste piires koosnevana sõlmedest, mis koostatakse toote teistest elementidest eraldatult ja ühendatakse tootega lahtimonteerimiseta ja teistkordse koostamiseta; niisugused konstruktsioonid lihtsustavad tunduvalt voolkoostamise organiseerimist mass- ja seeriatootmises ning lühendavad koostamistsükli kestust individuaaltootmises;

2) kasutada projekteeritavas konstruktsioonis standardiseeritud ja normaliseeritud sõlmi ja detaile ning unifitseerida originaalsete detailide elemendid; nende tingimuste täitmine kindlustab tootmisprotsesside töömahukuse vähenemise ja tehnoloogiliste tarvikute nomenklatuuri kahanemise;

3) arvestada, et koostamis-, mõõte- ja paigalduslähte ühitamine kindlustab suurema töötlemis- ja koostamistäpsuse;

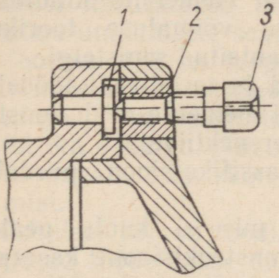
4) ette näha võimalus laialdaselt kasutada mehhaniseeritud koostamisvahendeid, mis tõstavad töötootlikkust iga tootmistüübi korral;

5) arvestada, et mass- ja seeriatootmisel suurendab koostamisprotsesside automatiseerimine mitmekordselt töötootlikkust, ja seoses sellega toote konstrueerimisel ette näha võimalus tootmisprotsesside automatiseerimiseks.

Neid põhinõudeid võib täiendada mõnede konkreetsete näpunäidetega.

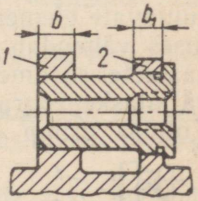
Detailide ja sõlmede nõutavas asendis paigaldamise täpsuse suurendamiseks ilma täiendava ajakuluta rihtimisele tuleb konstrueerida spetsiaalsed tsentreerivad ja fikseerivad elemendid; need ele-

mendid on paigalduslähteteks, mis kindlustavad detaili paigaldamisel tema asendi nõutava geomeetrilise määratletuse.
Töödeldavate detailide mõõtmete tolerantside laiendamiseks ja sobitamise mahu vähendamiseks tuleb seal, kus see vajalik on, ette näha kompenseerivad elemendid vaheseibide, rõngaste ja liikuvate (reguleeritavate) kompensaatorite kujul.
Demontaaživõimaluse kindlustamiseks koostamisel ja ekspluatatsioonis konstrueerida tiheda istuga liidetud detailidele elemendid mahavõtteseadiste kasutamiseks (joon. 134).



Joon. 134. Mahavõtteseadis tiheda istuga ühendatud kaanele: *1* — tugi mahavõttekruvile; *2* — sisekeermega puks (kokku on kaane ringjoonel kolm puksi); *3* — mahavõttekruvi

Mitme fikseeriva elemendi järgi liidetavate detailide koostamise lihtsustamiseks tuleb vältida paralleelset ja kasutada nende järjestik-paralleelset ühendamist. Istamispindade kriimustamise vältimiseks koostamisel tuleb nad teha astmelised. Nii näiteks joonisel 135 on kõrva *1* istamispinna (vöö) laius *b* suurem kui kõrva *2* laius b_1, seetõttu juhitakse koostamisel puksi algul kõrvas *1* ja alles peale seda läheb ta kõrva *2* avasse.



Joon. 135. Sõrme istamise skeem kahe kontsentrilise vöö abil; kõrva *1* mõõde *b* peab olema suurem kõrva *2* mõõtmetest b_1, et kindlustada järjestik-paralleelne ühendamine

Detailide sisepindadele paigutatud mutrid tuleb splintida; detailide välispindadel asetsevad mutrid võib koostamise lihtsustamiseks varustada vedruseibidega.
Esitatud nõuete täitmine masinaosade konstruktsioonilisel kujundamisel mitte ainult tõstab konstruktsiooni tehnoloogilisust, vaid parendab ka tema ekspluatatsioonilisi omadusi. Kaasaegsete masinate tehnoloogilisus suureneb real juhtudel stantsitud-keevitatud konstruktsioonide kasutamisega, millel on lehtmaterjali stantsimise ja keevitamisega koostamise ühise kasutamise eelised.

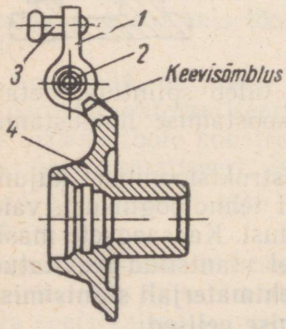
Ükskõik kui keerulise kuju ja ükskõik milliste mõõtmetega sõlmede konstruktsiooniline kujundamine on enamasti ilma eriliste raskusteta realiseeritav elementide keevitamisega, mille kuju ja mõõtmed kindlustavad nõutava konfiguratsiooni ja on ette kirjutatud tootmistehnoloogiaga. Keerukad keeviskonstruktsioonid võivad sisaldada mitut liiki stantsitud, valatud ja valtsmaterjalist elemente. Üleminekuga terasvalandeilt stantsitud-keevitatud konstruktsioonidele võib saavutada kaalu vähenemise keskmiselt 20 ... 30%; malmvalandite korral on metalli kokkuhoid veelgi suurem. Paksust lehtmaterjalist stantsitud-keevitatud elemendid kindlustavad vajalike töötlemisvarude määramise võimaluse tooriku mõõtmete samade tolerantside juures mis stantsitud sepistelgi. Võimalus kombineerida ühes sõlmes tooreid ja termiliselt töödeldud detaile ja samuti erinevatest metallidest elemente avab konstruktoritele ja tehnoloogidele täiendavaid perspektiive.

Keeviskonstruktsioonide tehnoloogiline klassifikatsioon piirdub kolme põhilise grupiga.

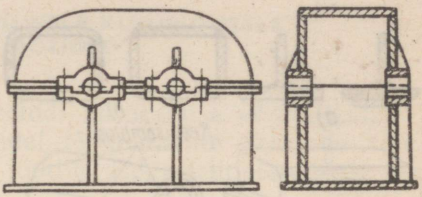
Esimene grupp — keeviskonstruktsioonid, mis ei kuulu peale keevitamist lõiketöötlemisele. Selle grupi konstruktsioone kasutatakse tavaliselt masinate elementidena, millel on vabad mõõtmed. Mõningatel juhtudel, kui konstruktsiooni detailid on enne keevitamist töödeldud ja kindlustatakse vajalik keevitamistäpsus, kasutatakse neid konstruktsioone ka masinate elementidena, mille mõõtmed on tolerantsidega piiratud.

Teine grupp — keeviskonstruktsioonid, mille istamispinnad kuuluvad peale keevitamist ainult puhaslõiketöötlemisele. Konstruktsiooni detailide eeltöötlemine toimub eraldi ja puhastöötlemine — koos peale keevitamist; sellega tagatakse keeviskonstruktsiooni kuuluvate elementide nõutav vastastikune asend. Raskemasinaehituses vähendab niisugune tehnoloogiline protsess tunduvalt unikaalsete seadmete koormust, mis tavaliselt limiteerivad tsehhi väljalaskeprogrammi.

Kolmas grupp — keevitatud toorikud, mille eel- ja puhaslõike-



Joon. 136. Auto keevitatud sõlm



Joon. 137. Reduktori keevitatud korpus

töötlemine toimub peale keevitamist. Niisugust tehnoloogilist protsessi kasutatakse konstruktsioonide korral, mille töötlemine ei nõua unikaalsete seadmete kasutamist.

Joonisel 136 on toodud auto keevitatud sõlm: lehtvedru kinnitur *1* koos sissepressitud teraspuksiga *2* ja lõplikult töödeldud sõrmega *3* on keevitatud põkkõmblusega tagumise pooltelje kesta ääriku *4* külge. Niisugune konstruktsiooniline lahendus lihtsustab tunduvalt keeviskonstruktsiooni elementide mehaanilist töötlemist.

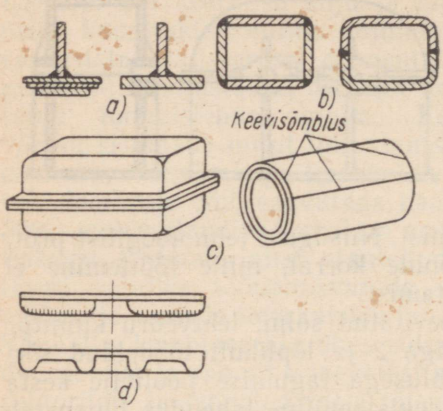
Joonisel 137 on toodud reduktori keevitatud korpus; laagriliudade pesad töödeldakse enne keevitamist; nende puhassisetreimine toimub reduktori keevitatud korpuses peale korpuse mõlema poole lahutuspindade freesimist. Niisugune tehnoloogiline protsess lühendab suurtel tööpinkidel töötlemise tsükli kestust ja kindlustab nõutava töötlemistäpsuse.

Ei ole välistatud võimalus ja otstarbekus asendada metallilõikepingi valatud säng stantsitud-keevitatud konstruktsiooniga. Automootori valatud silindriploki asendamisel stantsitud-keevitatud-joodetud konstruktsiooniga võib oodata selle kaalu vähenemist 30% võrra ja valmistusprotsessi töömahukuse alanemist 26% võrra.

Üldised tehnoloogilised nõuded keeviskonstruktsioonile võib sõnastada järgmiselt.

1. Konstrueerimisel on vaja arvestada tehnoloogilise protsessi üldist skeemi ja ette näha ratsionaalsete keevitusmooduste kasutamine.

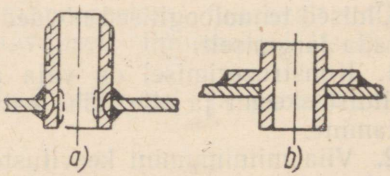
2. Viia miinimumini keevitustööde maht detailide arvu vähendamisega keevitatavas sõlmes; selleks: asendada pakk õhukesi lehti ühe paksu lehega (joon. 138, *a*); kasutada keevitamise asemel painutamist (joon. 138, *b*); kasutada stantsimisel eraldavate asemel kuju muutvaid operatsioone (joon. 138, *c*); asendada keevitatud jäikusribid väljastantsitud tugevdustega (joon. 138, *d*); kasutada servade ettevalmistuse minimaalseid nurki, mis kindlustavad läbikeevitumise, ja samuti liiteid ilma servade ettevalmistamiseta; liite tugevust kindlustavate elektroodide ja manusmaterjalide kasutamise arvel projekteerida liited lappideta ja õmbluste minimaalse ristlõikega.



Joon. 138. Keevitustööde mahu vähendamise moodused

3. Viia miinimumini keevitusest tingitud deformatsioonid ja pinged: a) keevisõmbluste arvu ja pealekeevitatava metalli mahu vähendamisega; b) keevisõmbluste sümmeetrilise asetusega keevitatava elemendi raskuskeskme suhtes; c) keevisõmbluste kuhjunud asetuse ja sagedaste lõikumiste vältimisega; d) õmbluste asetusega, mis võimaldab kogu sõlme koostamist enne keevitamise algust.

4. Kaitsta detaili töödeldud pindu vigastuste eest keevitamisel keevisõmbluste paigutamisega küllaldasele kaugusele töödeldud pindadest. Näiteks puksi keevitamisel joonise 139, *a* järgi moondub tema ava kuju vastavalt punktiirjoonele; joonisel 139, *b* näidatud puksi konstruktsioon äärikuga võimaldab viia keevisõmbluse eemale ja kaitseb puksi ava moonutuste eest.



Joon. 139. Puksi keevitamise variandid

5. Vastutavad õmblused paigutada nii, et neid oleks hõlpus üle vaadata ja kontrollida.

Siin on vaadeldud ainult tootmistehnoloogiast tulenevaid üldisi nõudeid masinate elementide konstruktsioonilisele kujundusele; näited on toodud üldiste väidete illustreerimiseks.

2. DETAILIDE KONSTRUKTSIOONILISELE KUJUNDUSELE ESITATAVAD TEHNOLOOGILISED NÕUDED

Ühe või teise tehnoloogilise meetodi kasutamise võimalikkuse ja otstarbekuse määrab real juhtudel töödeldavate detailide konstruktsioon; eriti kehtib see suure tootlikkusega tehnoloogiliste meetodite kohta.

Seega tuleneb tootmistehnoloogiast rida nõudeid masinaosade konstruktsioonilisele kujundusele. Nendest nõuetest kinnipidamine väldib või vähemalt vähendab tööstuslikke raskusi, lühendab tootmistsükli kestust, suurendab töötootlikkust ja alandab detailide omahinda. Need nõuded tulenevad nii toorikute tootmise tehnoloogiast kui ka nende järgneva töötlemise tehnoloogiast.

Konstrueerimine on loominguline protsess ja seetõttu ei ole võimalik anda kõikide juhtude jaoks ühiseid tootmistehnoloogia nõuetele vastavaid masinaosade konstrueerimise juhiseid, seda enam, et detaili konstruktsiooni määrab tema talitluslik ülesanne. Selle probleemi lahendamise üldised suunad võib sõnastada järgmiselt.

Detaili konfiguratsioon peab kujutama endast kombinatsiooni lihtsatest geomeetrilistest vormidest, mis annavad võimaluse kasutada suure tootlikkusega tootmismeetodeid ja valida sobiva ja kindla lähte tooriku paigaldamiseks tema töötlemise protsessis. Juhul kui detaili pinnad ei kindlusta niisugust lähet, tuleb konstrueerida spetsiaalsed elemendid (valulisandid, nabad, avad) tooriku lähtamiseks ja kinnitamiseks; vajaduse korral võib need elemendid peale töötlemist kõrvaldada.

Detaili etteantud täpsus ja pinnakaredus peavad olema rangelt põhjendatud tema talitlusliku ülesandega. Põhjendamatult suurendatud nõuded täpsuse ja kareduse suhtes nõuavad täiendavaid operatsioone, pikendavad töötlemistsüklit, suurendavad töötlemisprotsessi töömahukust ja tõstavad detaili omahinda.

Detailide ja nende elementide standardiseerimine ja unifitseerimine kindlustab tootmisprotsesside töömahukuse vähenemise ja detailide omahinna alanemise seoses väljalaske seerialisuse suurenemise ja tööpingiseadistuste unifitseerimisega.

Ettevalmistusprotsessidest tulenevad tehnoloogilised nõuded. Suurseeria- ja masstootmises õigustab ennast eriprofiiliga ja perioodilise valtsmetalli kasutamine, mis vähendab tunduvalt mehaanilist töötlemist ja real juhtudel peaaegu täielikult välistab selle.

Eriprofiiliga valtsmetalli on sageli otstarbekohane kasutada stantsimisel, et koondada ettevalmistavaid vagusid ja suurendada töötootlikkust.

Profiilse ristlõikega, töötlemist mittevajavaid toorikuid võib masinatehastes saada külmtõmbamisega tavalise profiiliga valtsmetallist.

Vabasepistamisega valmistatavatel toorikutel tuleb hoiduda silindriliste elementide lõikumisest omavahel ja prismaatiliste elementidega. Samuti tuleb vältida ribilise ristlõikega nabasid, plaatkõrgendeid ja eendeid sepise põhipindadel.

Detaile, mille keerukat konfiguratsiooni ei ole võimalik lihtsustada terviklikult, on real juhtudel otstarbekohane asendada keevitatud või koostatavate lihtsamatest elementidest sõlmedega.

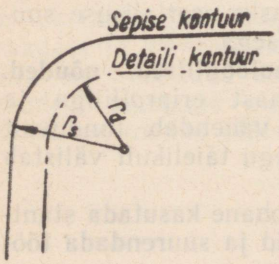
Detailide puhul, mis on valmistatud vasaratel ja pressidel stantsitud sepistest, on soovitatav juhinduda järgmistest näpunäidetest.

Stantsitud sepise geomeetriline kuju peab võimaldama sepise vaba väljavõtmist stantsist. Sepise külgpindadel peavad olema stantsi lahutuspinna ristsihis stantsimiskalded. Sõltuvalt seina kõrguse suhtest tema paksusesse võetakse stantsimiskalded välisseintele 5 ... 15° ja siseseintele 7 ... 15°, kui ei ole väljatõukureid. Väljatõukurite olemasolu korral võetakse välisseintele 2 ... 10° ja siseseintele 3 ... 12°.

Üleminekud ühelt mittetöödeldavalt pinnalt teisele peavad toimuma ümardusega. Teravad nurgad on kuumstantsimise tehnoloogia tingimuste kohaselt lubamatud. Et vältida stantsimisel praaki ja suurendada stantsi püsivusaega, peavad sisemiste, s. o. sisenevate nurkade ümardusraadiused olema suuremad välistest, s. o. väljuvate nurkade ümardusraadiustest. Sõltuvalt elemendi kõrgusest ja kõrguse ning laiuse suhtest võetakse ümardusraadius 1,5 ... 12,5 mm välistele (väljuvatele) ning 4 ... 45 mm sisemistele (sisenevatele) nurkadele.

Detaili töödeldavate pindade lõikumiskohtadel tuleb samuti ette näha küllaldased ümardusraadiused või faasid. Seejuures tuleb kinni pidada tingimusest (joon. 140)

$$r_d \geqslant r_s - z_n,$$



Joon. 140. Skeem töödeldud detaili ümardusraadiuse valimiseks

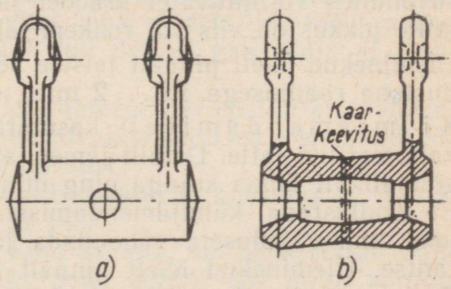
kus r_d — ümardusraadius töödeldud detailil;
r_s — ümardusraadius töötlemata sepisel;
z_n — nominaalne töötlemisvaru.

Selle tingimuse mittetäitmine viib vajadusele suurendada sepise lõikuvate pindade töötlemisvaru, et kindlustada normaalset töötlemisvaru etteantud ümardusraadiuse saamiseks töödeldud detailil.

Kui ümardusraadiuse asemel kasutatakse faasi, siis peab see mahtuma ümardusraadiusega joonestatud kaare sisse.

Detaili ristlõikepindalade järsud erinevused tema pikkuse erinevates osades on lubamatud, kuna need raskendavad stantsimist ja on seotud suurenenud praagiga ahenditel ning praagiga vormi kuju täitumatusest.

Stantsitava detaili õhukesed seinad vähendavad stantsi püsivusaega kiire jahtumise ja deformatsioonitakistuse suurenemise tagajärjel, tingivad mitteväljastantsitust ning põhjustavad praagi suurenemist. Lahutuspinnani ulatuvad õhukesed elemendid detailil põhjustavad suure metallikao ja suurenenud praagi kuju täitumatusest stantsimisel ning samuti murdumisest kraadi külmalt mahalõikamisel.



Joon. 141. Masina ühe ja sellesama elemendi terviklikult stantsitud (*a*) ja keevitatud (*b*) konstruktsioon

Detaili sümmeetriline kuju lahutuspinna suhtes ja eenduvate seinte sümmeetrilised kalded lihtsustavad stantsi valmistamist ja stantsimist ning vähendavad praaki stantside nihkumisest.

Nabade mõõtmed, millesse puuritakse ja järgnevalt töödeldakse ava, määratakse lähtudes minimaalsest seinapaksusest peale ava töötlemist ja stantsi võimalikku nihkumist [1]; real juhtudel kindlustavad nihkumise sihis ovaalsed nabad võimaluse kinni pidada minimaalsest seinapaksusest peale ava töötlemist.

Tervikliku konstruktsiooniga detaile on sageli otstarbekohane metalli kokkuhoiu ja stantsimise lihtsustamise eesmärgil asendada keevitatud sõlmedega; näiteks annab keevitatud sõlm joonisel 141

[1] Stantside nihkumise suurused määrab ГОСТ 7505-55.

terviklikult stantsitud toorikut asendades metalli tunduvat kokkuhoidu ja lihtsustab stantsimist. Kuid niisuguse asenduse otstarbekust on igal konkreetsel juhul vaja kontrollida.

Horisontaalsepistusmasinates stantsitavate sepiste konstrueerimisel on soovitatav juhinduda järgmistest kaalutlustest.

Horisontaalsepistusmasinates võib stantsida mitmesuguse konfiguratsiooniga toorikuid, eeskätt detaile, mis kujutavad endast äärikute, kraede ja läbivate või umbavadega korrapärase geomeetrilise kujuga pöördkehi. Sügavate läbi- või umbavadega detailide seinapaksus ei tohi olla väiksem kui 0,15 detaili välisläbimõõtu.

Detaili ahenemised pikisuunas raskendavad metalli voolamist stantsimisel ja seetõttu tuleb neid vältida.

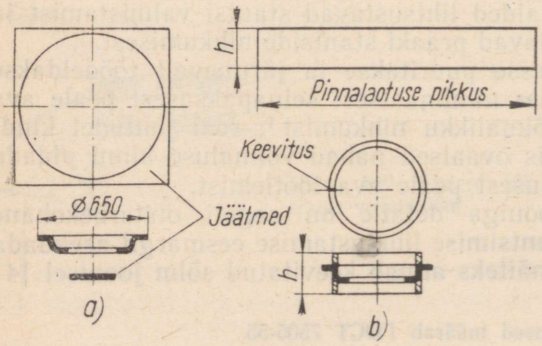
Koonilise kujuga sabad raskendavad samuti stantsimist, seepärast tuleb need teha silindrilised.

Detaili otsas või keskel asetsevate äärikute maht ei tohi olla suurem kui antud diameetriga d varda maht pikkusel $(10 \ldots 12)d$.

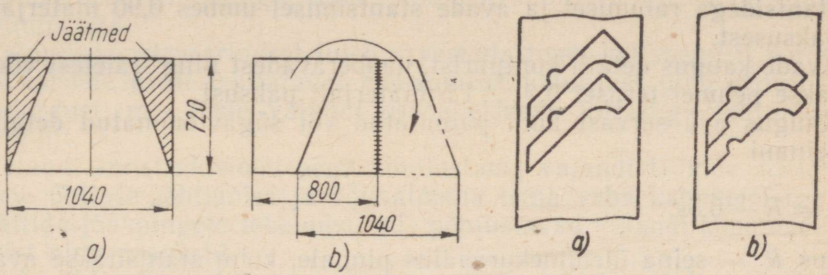
Seda liiki sepiste stantsimiskalded võivad olla väga väikesed: 0,5° templi õõnes vormitavatel sepise silindrilistel osadel, mille pikkus on rohkem kui pool läbimõõtu; 0,5 ... 1,5° matriitsi rõngassüvendites vormitavatel kraedel ja 0,5 ... 3° umbavade seintel, mille pikkus on viis või rohkem läbimõõtu.

Üleminekud ühelt pinnalt teisele peavad olema kujundatud ümardustena raadiusega 1,5 ... 2 mm.

Külmjämendamisel kasutatakse kalibreeritud traati või kalibreeritud latte. Detaili jämendatavad elemendid peavad olema võimalikult lihtsa kujuga ning minimaalse mahu ja läbimõõduga. Et kindlustada külmjämendamisstantside suurt püsivusaega, ei tohi ilma vajaduseta vähendada jämendatavate elementide tolerantse. Üleminekud ühelt pinnalt teisele tuleb kujundada ümardustena raadiusega mitte alla 0,2 mm.



Joon. 142. Keevituse kasutamise näide metalli kokkuhoiu eesmärgil: *a* — lehest valmistatud detail (suured metallijäätmed); *b* — keevitamisega valmistatud detail (jäätmeteta)



Joon. 143. Keevituse kasutamise näide metalli kokkuhoiu eesmärgil: *a* — kapoti terviklik toorik (suured metallijäätmed); *b* — kapoti keevitatud toorik (jäätmeteta)

Joon 144. Detaili konfiguratsiooni väljalõikega kooskõlastamatuse (*a*) ja kooskõlastatuse (*b*) näide

Lehtmaterjali stantsimisega saadavate detailide puhul on otstarbekohane juhinduda järgmistest näpunäidetest.

Lehtmaterjali stantsimisel kasutatakse materjali põhiliselt lindi, riba ja lehtede kujul. Linti kasutatakse tavaliselt õhukeste (paksus 2,0 ... 2,5 mm) detailide puhul, riba — detailide jaoks paksusega üle 2,5 mm ja lehte juhul, kui detaili gabariidid ei mahu lindile või ribale.

Jäikusribid, servad ja teised lehtmaterjali stantsimisel materjali kokkuhoiu eesmärgil tehtavad konstruktsioonilised elemendid võimaldavad vähendada materjali paksust.

Keevitamine annab samuti metalli tunduvat kokkuhoidu; vastav näide on toodud joonistel 142 ja 143.

Detaili konfiguratsioon peab kindlustama väljalõikamisel minimaalsed metallijäätmed. Selleks peab detaili ühe külje kontuur olema võimalikult teise külje peegelpildiks. Joonisel 144 on toodud näide detaili konfiguratsiooni kooskõlastamatuse (*a*) ja kooskõlastatuse (*b*) kohta materjali ratsionaalse väljalõikega.

Värvilise metalli kokkuhoid saavutatakse tervikliku detaili asendamisel sõlmega, kus värvilisest metallist on tehtud ainult osa elemente, mis pressitakse põhidetailiga kokku või liidetakse muul viisil.

Terastemplite ja -matriitsidega stantsitavate avade minimaalsed mõõtmed on sõltuvalt nende kujust (ümar, ruudu- või ristkülikukujuline) pehme terase stantsimisel 1,0 ... 0,7, valgevase ja vase puhul 0,9 ... 0,6, alumiiniumi ja tsingi puhul 0,8 ... 0,5, bakeliidi ja tekstoliidi puhul 0,7 ... 0,4 ja kartongi ning paberi puhul 0,6 ... 0,3 stantsitava materjali paksusest.

Kontuuri osade minimaalsed üleminekuraadiused võetakse teras-

stantsidega raiumisel ja avade stantsimisel umbes 0,90 materjali paksusest.
Avade kaugus detaili kontuurist, naaberavadest ning -raietest võetakse pehmel terasel 0,7 ... 1,5 materjali paksust.
Kaugus ava servast kuni painutatud või sügavtõmmatud detaili seinani

$$x = R - 0{,}5s,$$

kus R — seina üleminekuraadius pinnale, kuhu stantsitakse ava;
s — materjali paksus.
Detaili minimaalne laius peab pehme terase puhul olema 1,5 korda suurem materjali paksusest.
Stantsis painutamisel peab painutatava seina sirge osa kõrgus olema suurem kui materjali kahekordne paksus. Kui on vajalik väiksem kõrgus, siis selle võib saavutada sissepressitud soone olemasolul painutatava seina juures või järgneva mehaanilise töötlemisega.
Ümarduse üleminekupiirkonnas vertikaalseks seinaks tekib painde kohal materjali õhenemine ja muljutised, mida saab kõrvaldada ainult täiendavate operatsioonidega.
Nurgikute ja klambrite painutamisel stantsis saame küljed, sõltuvalt materjali paksusest s järgmiste hälvetega:

s mm	$\leqslant 2$	2 ... 4	> 4
Δ mm	$\pm 0{,}15$	$\pm 0{,}3$	$\pm 0{,}4$

Suurte tasapindadega detailide sügavtõmbamisel tuleb kohalike mõlkide vältimiseks näha ette nendel pindadel pikad ja lõikuvad jäikusribid.
Kui konstruktsioonilistel kaalutlustel saame keeruka, sügavtõmbamisega raskelt teostatava kuju, tuleb niisugune konstruktsioon jaotada lihtsateks elementideks ja need järgnevalt liita stantsimise või keevitamisega.
Valatud detailide puhul on soovitatav juhinduda järgmistest näpunäidetest. Valandi konfiguratsioon peab kindlustama mudeli takistamatu eemaldamise vormist. Sel eesmärgil tuleb valandi vertikaalsetel pindadel ette näha konstruktsioonilised kalded, mille suurus valitakse sõltuvalt pinna kõrgusest. Valandi sisepindadele võetakse kalle suurem kui välistele. Mudelil tuleb vältida eemaldatavaid osi ja keerukaid lahutuspindu.
Tuleb arvestada pindade asendit valamise ajal ja vältida suuri horisontaalseid pindu, mis valamise ajal on üleval, kuna neil pindadel võivad tekkida gaasitühikud.
Valandi konstruktsioon peab kindlustama vormi takistamatu täi-

tumise vedela metalliga, selle voolamise suuna ja kiiruse järskude muutusteta.

Valandi konstrueerimisel tuleb arvestada tema kahanemist, vormi ja kärnide poolt tekitatavat mehaanilist pidurdust ning termilist pidurdust, mis tekib valandi osade erineva kiirusega jahtumise mõjul.

Valandi konstruktsioon peab kindlustama valandi kõikide ristlõigete ühtlase jahtumise ja võimaldama tema vaba kahanemist, et vältida jääkpingete tekkimist, mis põhjustavad valandi kõmmeldumist ning pragusid.

Valandi konfiguratsioon peab võimaldama takistamatult maha lõigata valupäid, valukanaleid ja tõusupäid, välja lüüa kärne ja kõrvaldada karkasse.

Valandi joonisel tuleb tähistada lähtepinnad, mida kasutatakse tooriku mehaanilisel töötlemisel; need pinnad võetakse aluseks mudelite ja valandite kontrollimisel. Lähtepinna peab moodustama mudel ja ta peab asuma ühes vormikastis, et vältida vormikastide ja kärnide nihkumise mõju tema täpsusele. On soovitatav, et ruumiliste koordinaatide kolmest teljest oleks igaühe kohta ainult üks lähe.

Valandi seinte paksuse määramisel tuleb arvestada valandi mõõtmeid ja kaalu, valamiseks kasutatavat metalli ja valumeetodit.

Tuleb arvestada, et profiili üleminekud ja teravate nurkade puudumine võimaldavad saada ilma valupuueteta ja -pingeteta valandi. Ühes valandis on soovitatav projekteerida võimalikult ühe raadiusega uurded või maksimaalselt piirata suuruse poolest erinevate raadiuste arvu.

Ristlõigete järsud muutused on lubamatud ja üleminekud ühelt ristlõikelt teisele peavad olema sujuvad. Ühes pinnas olevate liidete ja kahe või kolme seina nurkliite üleminekuraadiused sõltuvad liituvate seinte paksusest.

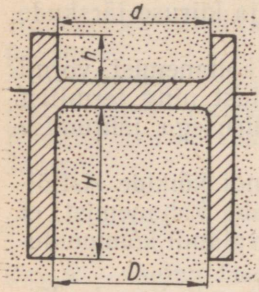
Ribide konstruktsioon oleneb valandi gabariitidest ja nende mõõtmed on kindlas sõltuvuses seinte mõõtmetest.

Pindade liitekoha ümardusraadius võetakse 2 ... 120 mm sõltuvalt pindade gabariitmõõtmetest ja ühendusnurgast.[1]

Valatud nurkade konstrueerimisel tuleb arvestada, et välimiste nurkade tardumise kiirus on suurem kui sisemistel. Valandi seintega risti liikuvad soojusvoolud lõikuvad sisemiste nurkade juures ja moodustavad «kuuma koha», mis aeglustab jahtumist. Nurga tipus peab paksus olema 20 ... 25% väiksem liituvate pindade paksusest.

---

[1] Ühendusnurkade ja ümardusraadiuste soovitatavad suurused vt. Справочник машиностроителя, том 5, Машгиз, 1955, lk. 80 ... 85.



Joon. 145. Valandi siseõõnte mõõtmete määramise skeem

Valandi siseõõntele on soovitatav anda konfiguratsioon, mis ei nõua kärnide kasutamist. Vormi osadega ilma kärni kasutamiseta moodustatud siseõõnte mõõtmete suhe sõltub nende õõnte asendist vormis.

Masinvormimisel lubatakse õõntel, mis on moodustatud alumises valukastis (joon. 145) olevate vormiosadega, $H \leqslant D$; ülemises valukastis olevate vormiosadega moodustatud õõntel peab $h \leqslant 0{,}3d$; käsitsivormimisel võetakse $H \leqslant 0{,}5D$ ja $h \leqslant 0{,}15d$.

Kui valandis on palju kärnidega moodustatud õõsi, tuleb püüda need unifitseerida. Kärni pikkuse korral üle kahe läbimõõdu peab õõne kuju kindlustama kärni mõlemast otsast kinnitamise võimaluse. Kärnidega moodustatud õõnte mõõtmed ja avade läbimõõdud peavad võimaldama kasutada kärnide tugevdamiseks valatud või traatkarkasse.

Valandi konstruktsioon peab võimaldama kärnisegu ja karkasside eemaldamist siseõõntest ning samuti siseõõnte korralikku puhastamist. Kinnistel siseõõntel peavad olema spetsiaalsed avad kärnisegu ja karkasside eemaldamiseks; peale puhastamist suletakse need avad korkidega.

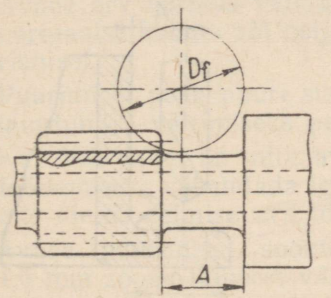
Ava kohtades tugevdatakse seinu nabadega. Nabade minimaalseks kõrguseks soovitatakse võtta 5 mm detailidele gabariitidega kuni 0,5 m, 10 ... 15 mm detailidele 0,5 kuni 2 m ja 20 ... 25 mm detailidele üle 2 m.

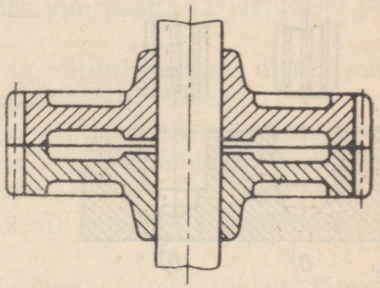
Mehaanilise töötlemise tehnoloogiast tulenevad üldised nõuded masinaosade konstruktsioonilisele kujundusele võib sõnastada järgmiselt.

1. Vähendada mehaanilise töötlemise mahtu tolerantside määramisega ainult detaili istamispindade mõõtmetele ja ülejäänud mõõtmete vabaksjätmisega. Toorikute valmistamise täpsete meetodite korral võib saada detailid ilma mehaanilise töötlemiseta.
2. Kindlustada mugavad ja kindlad lähtepinnad tooriku paigaldamiseks tema töötlemise protsessis ja mõõtmete andmiseks ning ühitada paigaldus- ja mõõtelähe.

3. Kindlustada detaili küllaldane jäikus, mis garanteeriks lõikejõudude vastuvõtmise ilma märgatavate deformatsioonideta.
4. Ette näha võimalus jäiga ja suure tootlikkusega lõikeriista mugavaks viimiseks töödeldavale pinnale.
5. Anda ette mustade ja töödeldavate pindade mõõtmete vahe, mis kindlustab töötlemisvaru arvessevõtmisel lõikeriista vaba väljajooksu tooriku mõõtmete lubatud hälvete korral.
6. Näha ette lõikeriista vaba väljajooks läbival töötlemisel (joon. 146, mõõde *A*).
7. Konstrueerida detailid mitme detaili üheaegseks töötlemiseks paigaldamise võimaluse silmaspidamisega (joon. 147).

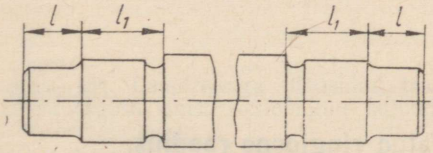
Masinaosade elementaarpindade suhtes on tarvis arvestada järgmisi tehnoloogilisi nõudeid.

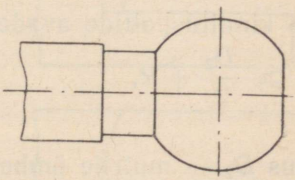




Joon. 146. Detaili konstruktsiooniline kujundus, mis võimaldab freesi väljajooksu

Joon. 147. Kahe hammasratta toorikute paigaldamise skeem üheaegseks töötlemiseks





Joon. 148. Sabade konstruktsiooni unifitseeritud elemendid

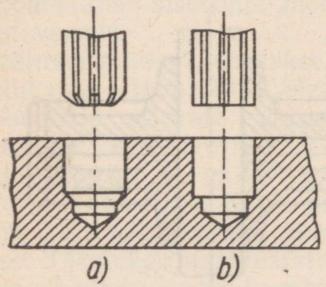
Joon. 149. Lõikega sfääriline pind

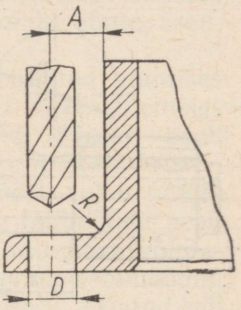
Välised pöördpinnad. Kasutada laialdaselt peade, äärikute ja rõngasastmete jämendamist, et vähendada mehaanilise töötlemise mahtu ja metallikulu.

Võimalikult unifitseerida sabade konstruktsioonielemendid, et kasutada nende töötlemisel üht ja sedasama mitmeterahäälestust (joon. 148).

Kõikjal, kus see võimalik on, soovitatakse sfäärilised kumerpinnad konstruktsiooniliselt kujundada teljega risti oleva lõikega (joon. 149).

Avad. Kasutada läbiavasid, kuna nende töötlemine on umbavade töötlemisest tunduvalt lihtsam. Umbavade konfiguratsioon peab olema seostatud kasutatava telgse tööriistaga, näiteks hõõritsa (joon. 150, *a*) või avardiga (joon. 150, *b*).





Joon. 150. Lõikeriista geomeetriaga seostatud umbavade konfiguratsioon

Joon. 151. Skeem ava telje kauguse määramiseks seinast

Avad ei tohi asetseda detaili seinale teatavast vahemaast ligemal (joon. 151):

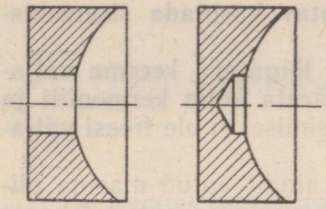
$$A \geqslant \frac{D}{2} + R$$

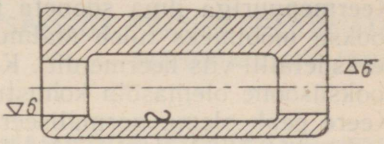
ja kinnituspoltide avade korral

$$A \geqslant \frac{D_2}{2} + R,$$

kus D_2 — mutrile ümberjoonestatud ringjoone raadius.

Avadevaheliste kauguste määramisel arvestada mitmespindliliste puurpeade kasutamise võimalust. Unifitseerida mitmespindlilise puurpea kasutamise eesmärgil avade asetust ja mõõtmeid äärikus.





Joon. 152. Nõgusa sfäärilise pinna konstruktsiooniline kujundus

Joon. 153. Treitud süvendi asendamine valatud pinnaga

Avade arv äärikus valida selline, et neid oleks võimalik puurida normaalse kolme- või neljaspindlilise puurpeaga järjestikusel pööramisel.

Puurimisel peab puuri sisenemise ja väljumise pind olema puuri murdumise vältimiseks perpendikulaarne ava teljega.

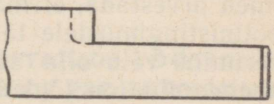
Kui ühel teljel on mitu ava, siis on soovitatav nende üheaegseks töötlemiseks vähendada iga järgmise ava läbimõõtu suuruse võrra, mis ületab eelmise ava töötlemisvaru.

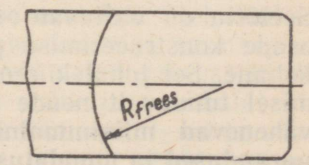
Avade puurimisel soontesse määrata avade läbimõõt 0,5... 1,0 mm soone laiusest väiksem.

Astmeliste avade korral määrata kõige suurem täpsus läbivale astmele.

Nõgusa sfäärilise pinna konstruktsioon peab ette nägema läbiva või umbava, et töötlemisel ei tekiks nullilist lõikekiirust (joon. 152).

On soovitatav vältida sooni puur- ja agregaatpinkides töödeldavatel avadel, kuna need tüsistavad töötlemist, samuti vältida mehaaniliselt töödeldud süvendite kasutamist ja konstrueerida nende asemel valatud pindu (joon. 153).





Joon. 154. Laupfreesiga töödeldud tasapinna üleminekuosa konstruktsiooniline kujundus

Keere. Keermetataval aval on soovitatav kasutada sisenemisfaasi.
Keermepuuriga ilma sooneta umbavasse lõigatava keerme väljajooksu mõõtmeks tuleb malmdetailil määrata kolm kermeniiti ja terasdetailil viis keermeniiti. Keerme freesimisel ei ole freesi väljajooksusoone olemasolu kohustuslik.
Keere peab olema normaliseeritud mitte ainult antud masina piires, vaid kõikide keermete osas, mida kasutatakse antud tehases või tööstusharus. Võimaluse korral vältida väikese läbimõõduga (6 mm ja vähem) keermete kasutamist keermepuuride sagedase purunemise tõttu niisuguste keermete mehaanilisel lõikamisel.
Keerme lõikamisel võlli otstele näha ette keerme väljajooks.
Tasapinnad. Töödeldavate tasapindade konfiguratsioon peab kindlustama laastu ühtlase ja lõökideta eraldamise.
Töödeldavate tasapindade mõõtmed peavad olema seostatud normaalfreeside mõõtmetega, s. t. töödeldavate pindade laius peab olema unifitseeritud vastavalt laupfreeside läbimõõtude ja silinderfreeside pikkuste normaalreale.
Juhul kui lõikeriistale ei ole ette nähtud väljajooksu, peab töödeldava tasapinna üleminekuosa vastama lõikeriista pinna mõõtmetele ja kujule (joon. 154).
Kujupinnad. Kumerate ja nõgusate pindade raadiused peavad olema seostatud poolringikujuliste kumerate ja nõgusate normaalfreeside mõõtmetega.
Sooned ja pesad. Sooned peavad võimaluste piires olema läbivalt töödeldavad. Kui pole võimalik läbiv töötlemine, siis peab soone üleminekuosa vastama freesi raadiusele. Soone sügavus ja laius tuleb valida vastavalt normaalsoonefreesi mõõtmetele.
Ümardusraadiused pesa aluse juures peavad olema ühesugused kogu perimeetril ja peavad vastama normaalsoonefreesi mõõtmetele ja geomeetriale.
Esitatud tehnoloogilised nõuded masinaosade konstruktsioonilisele kujundusele illustreerivad detailide konstruktsiooni ja tootmistehnoloogia seostamise vajadust.
Tuleb arvestada, et masinaosade mitmesuguste ja eriti keerukate, tootmistingimustele täielikult vastavate konstruktsioonide projekteerimine võib olla seotud tehnoloogiliste probleemidega, mille lahendamine on jõukohane ainult mitme tehnoloogiaala (survega töötlemine, valamine, mehaaniline töötlemine jne.) spetsialistidele. Seetõttu on vastavate spetsialistidega konsulteerimine masinaosade konstrueerimise protsessis tingimata vajalik ja otstarbekohane. Sel juhul kiireneb uute konstruktsioonide tootmisse laskmisel tunduvalt nende tehnoloogilise viimistlemise protsess ja vähenevad miinimumini tootmistehnoloogia nõuetest tingitud parandused ja muudatused konstruktsioonis.

TEHNOLOOGILISTE PROTSESSIDE PROJEKTEERIMINE MASINAEHITUSES

1. PROJEKTEERIMISE TEHNILIS-MAJANDUSLIKUD PÕHIALUSED

Tehnoloogiliste protsesside väljatöötamisel tuleb lähtuda kahest põhimõttest: tehnilisest ja majanduslikust. Vastavalt tehnilisele põhimõttele peab projekteeritav tehnoloogiline protsess täielikult tagama kõigi antud toote tööjoonisel toodud nõuete ja tehniliste tingimuste täitmise. Vastavalt majanduslikule põhimõttele peab toote valmistamine toimuma minimaalsete töö- ja tootmiskuludega. Sealjuures peab toote valmistamise tehnoloogiline protsess kindlustama minimaalse ajakulu ja toote omahinna juures seadmete, tööriistade ning rakiste kõikide tehniliste võimaluste õige ja täieliku ärakasutamise.

Tehnilise põhimõtte seisukohalt ühe ja sellesama toote valmistamise tehnoloogilise protsessi mitmest samaväärsest võimalikust variandist valitakse kõige efektiivsem (s. o. kõige tootlikum) ja kõige rentaablim variant.

Kõrvutatavate variantide võrdse tootlikkuse korral valitakse rentaablim variant, võrdse rentaabluse korral tootlikum variant. Erineva tootlikkuse ja rentaabluse korral valitakse etteantud tootlikkust tagavate variantide hulgast kõige rentaablim. Erijuhtudel (eriti tähtsa toodangu kiire väljalase, tootmise «kitsaskohtade» likvideerimine jm.) võib antud tehase piires teatud ajavahemikul rakendada maksimaalse tootlikkusega varianti.

Projekteeritava protsessi efektiivsus ja rentaablus määratakse kõigi koostiselementide järgi või arvutatakse ligikaudsete näitajate alusel.

2. MASINADETAILIDE TÖÖTLEMISE TEHNOLOOGILISTE PROTSESSIDE PROJEKTEERIMINE

Tehnoloogiliste protsesside projekteerimise eesmärk. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiliste protsesside projekteerimise eesmärgiks on: tootmistüübi ja esialgse tootmistakti või partii suuruse kindlaksmääramine; tooriku saamise meetodi valik ja toorikule esitatavate nõuete täpne sõnastamine; detaili töötlemisplaani koostamine, kusjuures on ära näidatud valitud lähted, tehnoloogiliste

operatsioonide ja siirete järjekord ja sisu; töötlemisvarude ja mõõtmete tolerantside kindlaksmääramine tehnoloogiliste siirete toorikuile; operatsioonide lõikerežiimide ja ajanormide kindlaksmääramine; vajalike seadmete, rakiste, töö- ja mõõteriistade ning tööjõu vajaduse väljaselgitamine.

Projekteeritud tehnoloogilise protsessi alusel määratakse lähteandmed põhi- ja abimaterjalidega varustamise, kalendaarse planeerimise, tehnilise kontrolli ning tööriista- ja transpordimajanduse organiseerimiseks.

Tehnoloogiliste protsesside projekteerimise põhijuhud. Tehnoloogilised protsessid töötatakse välja uute tehaste projekteerimisel ja olemasolevate tehaste rekonstrueerimisel, samuti uute toodete tootmise organiseerimisel töötavates tehastes. Peale selle korrigeeritakse ja töötatakse välja uusi tehnoloogilisi protsesse ka töötavates tehastes juba omandatud toodangu juures. Seda tingib tootmisobjektide jooksev täiustamine ja tootmistehnika uusimate saavutuste süstemaatilise rakendamise vajadus.

Uute tehaste projekteerimisel ja olemasolevate tehaste rekonstrueerimisel on väljatöötatud tehnoloogilised protsessid kogu projekti aluseks. Rakendatav tehnoloogiline protsess määrab vajalikud seadmed, tootmispinnad, energia, transpordivahendite, tööjõu, materjalide jne. vajaduse. Tehnoloogia väljatöötamise kvaliteedist olenevad suurel määral tehase töö tehnilis-majanduslikud näitajad.

Töötavates tehastes tuleb uute tootmisobjektide tootmisesse rakendamisel tehnoloogilised protsessid välja töötada juba enne ettevalmistavate ja organisatsiooniliste tööde kompleksi teostamise algust. Nende alusel selgitatakse olemasolevate seadmete kasutamise võimalused ja vajadused uute seadmete hankimiseks, määratakse tööjõu, tööriistade, transpordivahendite jm. vajadus.

Mehaanilise töötlemise tehnoloogiliste protsesside projekteerimise lähteandmed. Juhul kui tehnoloogiline protsess projekteeritakse uuele tehasele, on lähteandmeteks:

a) detaili tööjoonis, mis määrab detaili materjali, konstruktiivse kuju ja mõõtmed; b) detaili valmistamise tehnilised tingimused, mis iseloomustavad täpsust ja töödeldud pinna kvaliteeti, samuti erinõudeid (kõvadus, struktuur, termiline töötlemine, tasakaalustamine, kaalu täpsustamine jm.); c) tootmisprogramm; d) ajavahemik (tavaliselt aastates), mille vältel tuleb saavutada programmiga määratud väljalasketase.

Kui väljalaskeprogramm ajaliselt muutub, siis antakse programmülesanne aastate või muude ajavahemike kaupa.

Tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel töötavatele või rekonstrueeritavatele tehastele peavad olema teada andmed olemas-

olevate seadmete, pindalade ja teiste kohalike tootmistingimuste kohta.
Erijuhul võivad tehnoloogi võimalused tehnoloogilise protsessi projekteerimisel või korrigeerimisel olla veelgi enam piiratud lähtetooriku etteantud liigiga.
Projekteerimisel kasutatakse käsiraamatulisi ja normatiivseid materjale: seadmete katalooge ja passe; rakiste albumeid; riiklike standardite (ГОСТ) norme ning normaale lõike- ja mõõteriistadele; täpsuse, pinnakareduse, töötlemisvarude arvutuse, lõikerežiimide arvutuse ja tehnilise ajanormi määramise normatiive; tariifi-kvalifikatsiooniteatmike ja teisi abimaterjale.
Tehnoloogia vormistamiseks tuleb kasutada tehnoloogilise dokumentatsiooni blankette.
Projekteerimise üldine metoodika ja järjekord. Tehnoloogiliste protsesside projekteerimisele on iseloomulik ülesande lahendamise paljude võimalike variantide olemasolu. Isegi suhteliselt lihtsatele detailidele võib välja töötada mitu erinevat tehnoloogilist protsessi, mis täielikult rahuldavad tööjoonise nõudeid ja tehnilisi tingimusi. Nende variantide võrdlemisel valitakse efektiivsuse ja rentaabluse järgi lõplikult kas üks või mõned samaväärsed variandid.
Tehnoloogiliste protsesside projekteerimine on keerukas ja töömahukas. Nii nagu paljud teised projekteerimistööd, töötatakse ka tehnoloogiline protsess välja mitmes staadiumis. Algul tehakse tehnoloogilise protsessi esialgne kavand; edasistes staadiumides see täpsustatakse ja konkretiseeritakse üksikasjalike tehnoloogiliste arvutuste alusel. Esialgse kavandi järkjärgulise täpsustamisega saadakse tehnoloogiline protsess lõplikult väljatöötatud kujul. Tavaliselt õnnestub jõuda õige ja vastuvõetava lahenduseni alles rea katsete järel. Tehnoloogia väljatöötamise töömahukuse ja ajakulu vähendamiseks on otstarbekas võrrelda ja valida variante projekteerimise algstaadiumides. Tehnoloogia väljatöötamise põhjalikkus oleneb tootmistüübist. Masstootmises töötatakse kõikidele toote detailidele välja üksikasjalikud tehnoloogilised protsessid. Individuaaltootmises piirdutakse lihtsustatud käsitlusega, kuna üksikasjaliku tehnoloogia väljatöötamine end sellises olukorras majanduslikult ei õigusta. Erandi moodustavad keerukad ja kallid detailid, eriti raskemasinaehituses. Sellistele detailidele töötatakse tehnoloogilised protsessid välja hoolikalt ja üksikasjalikult. Seeriatootmises rakendatakse valmistatavate toodete laia nomenklatuuri korral grupitehnoloogiat. Projekteeritakse ka tehnoloogilisi protsesse suhteliselt väikesele tüüpdetailide hulgale (esindusdetailid).
Projekteeritakse üksteisega seotud ja teatud järjekorras olevate etappide kaupa. Nende hulka kuuluvad tootmistüübi kindlaksmääramine, tooriku saamise meetodi valik ja toorikule esitatavate

nõuete püstitamine, lähete valik, üksikpindade järjestikuste töötlemismeetodite (marsruudi) valik, detaili töötlemismarsruudi määramine tervikuna, esialgne operatsioonide sisu kavandamine, vahetöötlemisvarude arvutus, tooriku tolerantside ja piirmõõtmete määramine tehnoloogiliste siirete kaupa, operatsioonide sisu ja kontsentratsiooniastme täpsustamine, seadmete, tööriistade ja rakiste valik, lõikerežiimide määramine, häälestusmõõtmete määramine, tooriku paigaldus- ja kinnitusskeemi täpsustamine erirakiste projektülesande koostamiseks, ajanormide ja töötajate kvalifikatsiooni kindlaksmääramine, tehnoloogilise dokumentatsiooni vormistamine.

Tööjoonise ja tehniliste tingimuste tehnoloogiline kontroll. Enne tehnoloogilise protsessi projekteerimist uuritakse üksikasjalikult detaili tööjoonist, tema valmistamise tehnilisi tingimusi ja töötamistingimusi tootes. Kontrollitakse projektsioonide piisavust, mõõtmete asetamise õigsust, uuritakse töödeldavate pindade täpsusele ja pinnakaredusele püstitatud nõudeid, samuti muid tehniliste tingimuste nõudeid. Konstruktorid kõrgendavad sageli detaili mõõtmete täpsusklasse ja pinnasiledusklasse, mis muudab detaili valmistamise tehnoloogilise protsessi keerukaks. Sellisel juhul võib tehnoloog esitada vastavaid muutmisettepanekuid ja koos konstruktoriga läbiviidud arutluse tulemusena leitakse õige lahendus.

Tööjoonise kontrollimisel selgitatakse detaili konstruktsiooni tehnoloogilisemaks muutmise võimalused. Pööratakse tähelepanu: töödeldavate pindade suuruse vähendamisele, mis vähendab mehaanilise töötlemise töömahtu; detaili jäikuse suurendamisele, millega luuakse võimalused üheaegseks mitme lõikeriistaga töötlemiseks, mitmeteraliste lõikeriistade kasutamiseks ja suure tootlikkusega lõikerežiimide rakendamiseks; suure tootlikkusega lõikeriistade lähendamise ja eemaldamise kergendamisele töötlemistsoonis, millega väheneb põhi- ja abiaeg; soonte, süvendite, võllikaelte, avade ja teiste elementide mõõtmete unifitseerimisele, mis vähendab mõõduliste ja kujulõikeriistade nomenklatuuri ja töötlemisaega tehnoloogiliste siirete järjestikusel sooritamisel; kindlale ja mugavale tooriku lähtamisele, mõõtmete panekul — paigaldus- ja mõõtelähete ühitamisele; tooriku pindade üheaegse töötlemise mugavusele.

Konstruktsioonide tehnoloogilisuse nõuete täpsem käsitlus on toodud IV peatükis.

Konstruktsiooni tehnoloogilisemaks muutmisega võib töötlemise töömahukust tunduvalt vähendada ja rentaablust suurendada.

Tootmistüüp. Tootmistüüp määratakse peale antud detaili tootmistakti arvutamist valemi (5) järgi. Kui tootmistakt on lähedane või väiksem esialgselt ja orienteerivalt määratud kõige iseloomulikumate töötlemisoperatsioonide keskmisest ajalisest kestu-

sest, siis loetakse tootmine massiliseks. Sellisel juhul on otstarbekas kinnistada operatsioonid töökohtadele, sest seadmete koormusaste tuleb küllalt kõrge (tavaliselt mitte alla 70%). Operatsioonide kestus määratakse ligikaudsete arvutustega, lähtudes detaili iseloomulikemate pindade mõõtmetest ja kasutades töötlemise ajanormi määramisel grupinormatiive.

Kui tootmistakt ületab tunduvalt üksikute töötlemisoperatsioonide eeldatava ajalise kestuse, tuleb detaili toota seeriaviisiliselt. Seadmete suhteliselt väikese koormamise tõttu on sel juhul otstarbekas töödelda partiide [1] kaupa.

Seeriatootmisel määratakse partii suurus orienteerivalt, lähtudes seadmete seadistamise ja häälestamise töömahukusest, töötlemisprotsesside kestusest, toote väljalaskmise tähtaegadest, lõpetamata toodangu maksumusest, detailide nomenklatuurist ja teistest organisatsioonilistest ja majanduslikest kaalutlustest. Suurte ja keerukate detailide partii suuruseks võib võtta kahenädalasele programmile vastava detailidehulga, keskmistele — kuni kuuajalisele, lihtsatele ja väikestele — kuni kolmekuulisele programmile vastava hulga.

Esialgselt määratud partii suurust tuleb edaspidi korrigeerida tehnoloogilise protsessi täpsustamise käigus.

Tooriku saamise meetodi valik. Meetodi valiku määrab: 1) detaili materjali tehnoloogiline iseloomustus, s. o. materjali valuomadused ja plastne deformeeritavus survetöötlemisel, samuti materjali struktuurimuutus tooriku saamise ühe või teise meetodi juures (kiulise struktuuri suund sepistes; tera suurus valandeis jm.); 2) tooriku kuju ja mõõtmed; 3) nõutav tooriku valmistamise täpsus, pinnasilediusklass ja pinnakihi kvaliteet; 4) tootmisprogramm ja ajavahemik, mille jooksul see programm tuleb täita.

Tooriku saamise meetodi valikule avaldavad suurt mõju tehnoloogiliste tarvikute valmistamise aeg (stantsid, mudelid, pressvormid jm.), vastavate tehnoloogiliste seadmete olemasolu ja protsessi automatiseerimise aste. Valitud meetod peab tagama detaili väikseima omahinna, s. o. kulutused materjalile, tooriku valmistamisele ja järgnevale mehaanilisele töötlemisele peavad koos kaudsete kuludega olema minimaalsed. Tooriku valmistamistäpsuse suurenemisel väheneb mehaanilise töötlemise maht märgatavalt. Kuid väikese tootmisprogrammi korral ei tarvitse kõik meetodid kujuneda rentaabliteks, sest toorikute saamiseks vajalike tarvikute maksumus ei õigusta end alati majanduslikult. See nähtub detaili valmistamise omahinna valemist:

---

[1] Rea tehnoloogiliselt sarnaste detailide olemasolul tuleb töödelda grupi- või vahelduv-vooluliinidel või organiseerida selleks tehnoloogiliselt iseseisvad jaoskonnad.

$$C = Ga + \sum t_{t.toor.} l_{toor.} \left(1 + \frac{z_{toor.}}{100}\right) + \frac{100\,O}{N} +$$

$$+ \sum t_{t.toor.} k + \sum t_{t.töötl.} l_{töötl.} \left(1 + \frac{z_{töötl.}}{100}\right) \text{ kop.,}$$

kus G — materjali kaal ühele toorikule kg;

a — 1 kg materjali hind kop.;

$\Sigma t_{t.\,toor.} l_{toor.}$ — ettevalmistustsehhi tootmistöötasu ühele toorikule kop. ($t_{t.toor.}$ — ühe operatsiooni tükiaeg min, $l_{toor.}$ — seda operatsiooni sooritava töölise minutiline töötasu kop/min);

$z_{toor.}$ — kaudsete kulude protsent ettevalmistustsehhis, kusjuures pole arvestatud kulutusi eritarvikutele ja seadmete kasutamisega seotud kulutusi;

O — kulutused eritarvikutele (stantsid, survevaluvormid, mudelid jm.) rbl.;

N — detailide arv, millele jaotub tarvikute maksumus;

$\Sigma t_{t.\,toor.} k$ — ettevalmistustsehhi seadmete ekspluateerimise maksumus ühele toorikule kop. (k — kulutused seadmete ekspluateerimise 1 min kohta kop.);

$\Sigma t_{t.töötl.} l_{töötl.}$ — tootmistöötasu mehaanikatsehhis ühele detailile kop. ($t_{t.töötl.}$ — ühe mehaanilise töötlemise operatsiooni tükiaeg min, $l_{töötl.}$ — seda operatsiooni sooritava töölise minutiline töötasu kop/min);

$z_{töötl.}$ — mehaanikatsehhi kaudsete kulude protsent.

Teades toorikute saamise meetodite tehnoloogilist iseloomustust (vt. III ptk.), võib välja valida suhteliselt väikese arvu etteantud tingimusi rahuldavaid meetodeid. Meetod valitakse lõplikult majanduslike arvutuste alusel.

Valanditena või plastse deformeerimisega kujundatavate toorikute korral määratakse eelnevalt: 1) töötlemisvarud; 2) töödeldavate ja töötlemata pindade mõõtmete tolerantsid; 3) esimese mehaanilise töötlemise operatsiooni lähted ja nendele esitatavad nõuded; 4) toorikute termiline töötlemine (kui see on vajalik) ning nõuded materjali struktuuri ja kõvaduse kohta seoses töödeldavusega; 5) tooriku pindade üldpuhastamise meetod; 6) materjali kvaliteedi hindamiseks võetavate katsetükkide asukohad (vastutusrikastel toorikutel); 7) toorikute eeltöötlemise meetodid (eelkoorimine, puhastamine, tsentreerimine, õgvendamine jms.). Toorikute

valmistamisel standardmaterjalist määratakse lati profiil ja mõõtmed või lehe paksus.
Nimetatud andmed peavad olema tooriku joonisel või tooriku valmistamise tehnilistes tingimustes.
Toorikute kvaliteedi kontroll seisneb materjali vigade avastamises töötlemata ja eeltöödeldud pindade vaatlemisel, tooriku mõõtmete kontrollimises universaalsete mõõteriistadega, šabloonidega või märkimisega, materjali füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste ja keemilise koostise kontrollimises.
Paigalduslähete valik. Paigalduslähete valiku eesmärgiks on nii lähete endi kui ka nende vahetamise korra (kui see vajalikuks osutub) kindlaksmääramine detaili mehaanilise töötlemise tehnoloogilises protsessis. Lähete valikul võetakse arvesse detaili töökoonist ja sellel toodud mõõtmete paigutust, detaili valmistamise tehnilisi tingimusi, tooriku liiki ja protsessi soovitatavat automatiseerimise astet. Lähete kindlaksmääramisel arvestatakse ka detaili töötingimusi mehhanismis. Põhilised teesid lähete valikuks ja lähetele esitatavad nõuded on toodud II peatüki 2. paragrahvis.
Valitud lähtamisskeem määrab rakiste konstruktiivse skeemi, mõjutab mõõtmete täpsust ja detaili pindade vastastikust asendit. Töötlemistäpsuse osas saavutatakse parimaid tulemusi lähete ühitamise põhimõtte rakendamisel. Sel juhul on lähtamishälbed võrdsed nulliga. Selle põhimõtte rakendusvõimaluse puudumisel (näiteks tooriku ebaküllaldase stabiilsuse tõttu pindalalt väikeste mõõtelähete korral) võetakse paigalduslähteks teine pind, kusjuures püütakse vähendada lähete mitteühitatuse ebasoovitavaid tagajärgi.
Lähete ühitamise põhimõtte rakendamine suurendab detaili pindade suhtelise asendi täpsust. Pöördpindade hea kontsentrilisus saadakse ühe ja sellesama paigalduslähte kasutamisel. Selle põhimõtte rakendamine suurendab rakiste ja paigaldusskeemide sarnasust, mis on oluline tehnoloogilise protsessi automatiseerimisel.
Lähete ühitatuse saamiseks kasutatakse sageli kunstlikke (abi-) lähteid: kühmud, plaadikujulised mooduštised, tsentriavad, paigaldusvööd ja teised elemendid, samuti ka kogu töötlemise läbiviimist algtooriku ühekordse paigaldusega tema töötlemata pindadest. Viimane juhus esineb detailide töötlemisel automaatpinkides (lattmaterjali kasutamine), mitmepositsioonilistes pinkides, agregaatpinkides ja automaatliinides (vaherakiste kasutamine).
Lähete valikul tuleb määrata nende töötlemise täpsus ja pinnakaredus, samuti nende korduva töötlemise vajadus tooriku materjalis esinenud sisepingetest tekkida võiva deformatsiooni mõju kõrvaldamiseks. Lähete valik on seotud detaili töötlemisplaani esialgse kavandiga, mida tehnoloogilise protsessi projekteerimise järgmistel etappidel täpsustatakse.

Detailide üksikute pindade töötlemise marsruutide valik. Marsruut määratakse kindlaks vastavalt tööjoonise nõudeile ja valitud toorikule. Olenevalt detaili suurusest, kaalust ja kujust valitakse etteantud täpsus- ja pinnasilediusklassi järgi üks või mitu võimalikku lõpptöötlemismeetodit ja vastavate seadmete tüübid. Selle ülesande lahendamist kergendab tehnoloogiliste töötlemismeetodite iseloomustuste kasutamine (vt. III ptk.). Tooriku liigi järgi valitakse analoogiliselt eelnevale marsruudi algosa töötlemismeetod. Näiteks kui tooriku täpsus on väike, siis alustatakse antud pinna töötlemist eeltöötlemisega (koorimine). Täpse tooriku korral võib alustada kohe puhastöötlemisest ja mõnel juhul ka viimistlustöötlemisest.

Tuginedes marsruudi alg- ja lõpposa töötlemismeetoditele, määratakse vahepealsed töötlemismeetodid. Sealjuures lähtutakse asjaolust, et igale lõpptöötlemismeetodile eelneb üks või mitu võimalikku töötlemismoodust. Näiteks ava puhashõõritsemisele eelneb selle eelhõõritsemine, viimasele — puhasavardamine või puurimine.

Marsruudi koostamisel lähtutakse põhimõttest, et iga järgmine töötlemismeetod peab olema eelmisest täpsem. Vahemõõtme tehnoloogiline tolerants ja eelmise meetodi järgi saadud pinnakvaliteet peavad olema sellised, mille juures on võimalik järgneva kavandatava töötlemismeetodi normaalne rakendamine. Peale koorivsisetreimist ei tohi näiteks kasutada puhashõõritsemist, kuna eelneva töötlemise kõigi hälvete likvideerimiseks töötaksid hõõritsa hambad lubamatult suure lõikesügavuse juures. Pinna töötlemise marsruudi valik on seotud selle pinna töötlemisvarude määramisega. Antud pinna võimalike töötlemismarsruutide hulk võib olla küllalt suur. Ent nad pole kõik ühesuguse efektiivsuse ja rentaablusega. Nende näitajate järgi toimuv lõpliku variandi valik on keerukas ja töömahukas. Seda ülesannet saab kergendada vastavate tüüpmarsruut-normatiivide väljatöötamisega.

Variantide arvu võib sageli tunduvalt vähendada rea praktiliste kaalutluste arvestamisega. Siia hulka kuuluvad antud pinna töötlemise vajadus mitme järjestikuse siirdega ühel pingil, teiste võimalike töötlemismeetodite rakendamise piiramine detaili väikese jäikuse tõttu, antud pinna töötlemise vajadus koos teiste pindadega ja teised kohaliku iseloomuga nõuded.

Detaili töötlemise marsruudi koostamine. Töötlemismarsruudi koostamine on keerukas ülesanne paljude võimalike lahendusvariantidega. Detaili töötlemise marsruut peab andma töötlemise üldise plaani, määrama tehnoloogiliste operatsioonide sisu ja seadmete tüübi.

Selle ülesande lahendamiseks võib anda järgmisi metoodilisi juhendeid. Üldise töötlemisjärjekorra määramisel nähakse ette

kõige enne paigalduslähete töötlemine. Sellele järgnevad ülejäänud pinnad täpsusastme suurenemise järjekorras; mida täpsemalt tuleb pind töödelda, seda hiljem ta töödeldakse. Viimaseks jääb detaili kõige täpsem ja olulisem pind. Kergesti vigastatavaid pindu töödeldakse sageli marsruudi lõpul (näiteks väliskeermed ja mõned teised detaili elemendid).

Praagi õigeaegseks avastamiseks valutühikute ja teiste materjalidefektide esinemisel rakendatakse koorivtöötlemist, ja kui nõutakse, siis ka puhastöötlemist nendel pindadel, kus neid defekte ei lubata. Defektide avastamisel toorik kas prakeeritakse ilma edasise üleliigse töö kulutamiseta või, kui see on lubatav, parandatakse.

Täpsete ja vastutusrikaste masinate tootmisel jaotatakse marsruut kolmeks järjestikuseks staadiumiks: kooriv-, puhas- ja viimistlusstaadiumiks. Koorivtöötlemisel eemaldatakse töötlemisvarudena ja töötlemislisadena põhiline osa materjalist, puhastöötlemisel on vahepealne tähendus, viimistlemisel saadakse detaili pindade etteantud täpsus ja pinnakaredus. Marsruudi sellise jaotamise otstarbekuse määravad järgmised kaalutlused.

Koorivtöötlemisel esinevad suhteliselt suured töötlemishälbed, mis on tingitud tehnoloogilise süsteemi deformatsioonist lõike- ja kinnitusjõudude mõjul ning tooriku intensiivsest kuumenemisest. Nendes tingimustes ei taga kooriv- ja puhastöötlemise vaheldumine etteantud täpsust.

Peale koorivtöötlemist tekib tooriku suur deformeerumine, kuna selle materjalis esinevad jääkpinged jaotuvad ümber. Töötlemise jaotamisega eespool nimetatud staadiumidesse suurendame koorivja viimistlustöötlemise aialist vahet ja anname võimaluse deformeerumise täielikumaks avaldumiseks enne detaili kuju lõplikku täpsustamist viimistlusstaadiumis.

Viimistlustöötlemise eraldamisega marsruudi lõppu vähendatakse lõplikult töödeldud pindade juhusliku vigastamise riski töötlemisel ja transportimisel.

Koorivtöötlemist võib teha selleks eraldatud kulunud või vähetäpsetel seadmetel ja rakendada seejuures madalama kvalifikatsiooniga töötajaid.

Esitatud marsruudi koostamise põhimõte pole siiski kõikidel juhtudel kohustuslik. Selle läbikaalumata rakendamine võib mõnikord viia ebareaalsete protsesside loomiseni. Jäiga tooriku ja töödeldavate pindade väikeste mõõtmete korral võib üksikelementide lõpptöötlemine toimuda ka marsruudi algul ilma mingite kahjulike tagajärgedeta.

Nimetatud põhimõte on teatud määral vastuolus ka töötlemise kontsentreerimisega, mille juures võivad ühe operatsiooni piires

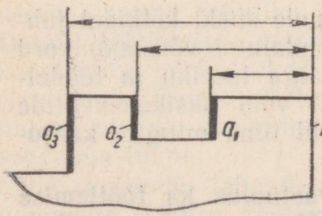
toimuda nii kooriv- kui puhastöötlemise siirded (detailide valmistamine automaatpinkidel lattmaterjalist).

Kui detaili tuleb termiliselt töödelda, siis jaotatakse mehaanilise töötlemise tehnoloogiline protsess kahte ossa: protsess kuni termilise töötlemiseni ja protsess peale seda. Võimalike kõmmeldumiste kõrvaldamiseks tuleb detaile sageli õgvendada või üksikuid pindu korduvalt töödelda, et tagada etteantud täpsus ja pinnakaredus. Üksikud termilise töötlemise viisid muudavad mehaanilise töötlemise küllalt keerukaks. Näiteks nõutakse tsementiitimisel tavaliselt vaid detaili üksikute piirkondade rikastamist süsinikuga. Seda saavutatakse ülejäänud piirkondade vasetamisega või jäetakse nendele töötlemisvaru, mis eemaldatakse täiendava mehaanilise töötlemisega peale tsementiitimist, kuid enne karastamist.

Töötlemise järjekord oleneb teatud määral mõõtmete paneku süsteemist. Esimesena tuleb töödelda see pind, mille suhtes on joonisel määratud detaili paljude teiste pindade asendid. Joon. 155 järgi mõõtmete panekul tuleb algul töödelda pind A, seejärel meelevaldses järjekorras pinnad a_1, a_2, a_3. Abistavad või teisejärgulised operatsioonid (väikeste avade puurimine, faasimine, soonte töötlemine, kiskude eemaldamine jne.) tehakse tavaliselt puhastöötlemise staadiumis. Marsruudi antud etapil võib nende operatsioonide tegemise järjekord tihti muutuda; tervikuna see ei avalda mõju protsessi kvaliteedinäitajatele ega majanduslikkusele. Tehnilise kontrolli operatsioonid nähakse ette peale neid töötlemisetappe, kus on tõenäoline ulatuslikum praagi tekkimine, enne keerukaid ja suure maksumusega operatsioone ja samuti töötlemise lõpul. Enamiku operatsioonide puhul kontrollitakse valikuliselt. Seda teevad liikuvad kontrolörid, samuti pingiltöötajad ja seadistajad.

Tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel olemasolevatele tehastele, kus tsehhid on organiseeritud tehnoloogilisel printsiibil, määratakse töötlemise järjekord võimalikult lühemat transporditeekonda arvestades. Antud juhul tehakse enne treimistööd, siis freesimistööd jne.

Operatsioonide esialgne sisu määratakse nende antud töötlemisstaadiumi siirete ühendamisel, mida saab teha valitud pingitüü-



Joon. 155. Pindade töötlemise järjekorra valiku skeem

bil. Masstootmises määratakse operatsioonide sisu tingimusest, et nende kestus oleks võrdne tootmistaktiga või oleks selle kordne. Operatsiooni sisule avaldab mõju ka detaili pingist pinki ümberpaigaldamiste arvu piiramine, mis on eriti tähtis raskemasinaehituses.

Põhimõtteliselt õige lähenemine mitmesugustesse klassidesse kuuluvate detailide marsruutide koostamisele antud tootmistingimustes seisneb tehnoloogiliste protsesside tüübistamises.

Töötlemisvarude määramine. *Töötlemisvarūks* nimetatakse tooriku mehaanilisel töötlemisel eemaldatavat etteantud täpsuse ja töödeldud pinna kvaliteedi saavutamiseks vajalikku materjalikihti. Esinevad vahe- ja üldtöötlemisvarud.

Vahetöötlemisvaruks nimetatakse mehaanilise töötlemise antud tehnoloogilisel siirdel eemaldatavat kihti. Vahetöötlemisvaru suuruseks on tooriku kahe järjestikuse — eelneva ja teostatava — tehnoloogilise siirde mõõtmete vahe.

Üldtöötlemisvaruks nimetatakse antud pinna kogu mehaanilise töötlemise tehnoloogilise marsruudi vahetöötlemisvarude summat. Üldtöötlemisvaru suuruseks on tooriku ja valmisdetaili mõõtmete vahe.

Masinadetailide valmistamise tehnoloogiliste protsesside väljatöötamisel on väga oluline tehnilis-majanduslik tähtsus kõikide siirete optimaalsete töötlemisvarude ja tooriku mõõtmete tehnoloogiliste tolerantside määramisel.

Liiga suured töötlemisvarud põhjustavad detailide valmistamisel materjali ülekulu; nad tingivad täiendavate tehnoloogiliste siirete rakendamist, suurendavad töötlemise töömahtu, energiakulu ja tööriistakulu, mis suurendab detaili omahinda. Mõnel juhul eemaldatakse liiga suurte töötlemisvarude puhul töödeldava detaili kõige kulumiskindlamad pinnakihid.

Liiga väikesed töötlemisvarud ei taga metalli vigastatud pinnakihtide eemaldamist ja nõutud täpsuse ning pinnakareduse saavutamist ja real juhtudel kujunevad kõvas valukooriku- või tagitsoonis lõikeriista tööks sobimatud tehnoloogilised tingimused. Liiga väikeste töötlemisvarude tõttu kasvab praagi hulk, mis suurendab toodangu omahinda.

Liiga suured tooriku mõõtmete tolerantsid muudavad tehnoloogilised operatsioonid häälestatud pinkides keerukaks, vähendavad töötlemistäpsust ja raskendavad rakiste kasutamist.

Optimaalsete töötlemisvarude määramine on tihedalt seotud tooriku vahe- ja algpiirmõõtmete kindlaksmääramisega. Need mõõtmed on vajalikud stantside, survevaluvormide, mudelite, kärnikastide, rakiste, erilõikeriistade ja -mõõteriistade konstrueerimiseks, samuti metallilõikepinkide ja teiste tehnoloogiliste seadmete

häälestamiseks. Optimaalsete töötlemisvarude rakendamisel võib põhjendatult määrata lähtetooriku kaalu, lõikerežiimid ja mehaanilise töötlemise operatsioonide ajanormid.

Töötlemisvarude määramise meetodid. Töötlemisvarude määramisel kasutatakse masinaehituses laialdaselt kogemuslik-statistilist meetodit. Selle meetodi juures võetakse üld- ja vahetöötlemisvarud tabelite järgi, mis on saadud eesrindlike tehaste tootmisandmete üldistamisel ja süstematiseerimisel. Selle meetodi puuduseks on asjaolu, et töötlemisvarud määratakse tehnoloogiliste protsesside väljatöötamise konkreetseid tingimusi arvestamata. Nii võetakse üldtöötlemisvarud antud pinna töötlemismarsruuti arvestamata ja vahetöötlemisvarud tooriku paigaldusskeemi ja eelneva töötlemise hälbeid arvestamata. Kogemuslik-statistilised töötlemisvarud on paljudel juhtudel liiga suured, kuna nad on arvestatud töötlemistingimustele, mille juures töötlemisvaru peab olema praagi tekkimise vältimiseks maksimaalne.

Töötlemisvarude valmissuurusi andvate tabelite koostamise metoodika sunnib tehnoloogi määrama töötlemisvaru dogmaatiliselt, juhtides tema tähelepanu kõrvale operatsiooni teostamise tingimuste analüüsimiselt ja töötlemisvarude vähendamise võimaluste otsimiselt. Sellega seoses kerkis üles küsimus töötlemisvarude teaduslikult põhjendatud määramisest.

Töötlemisvarude analüütiline arvutusmeetod. Vaatleme prof. tehnikadoktor V. M. Kovani poolt väljatöötatud analüütilist arvutusmeetodit töötlemisvarude ning tooriku vahe- ja lähtemõõtmete määramiseks.

Selle meetodi järgi peab vahetöötlemisvaru suurus olema selline, et tema eemaldamisel kaoksid eelmistel tehnoloogilistel siiretel kujunenud töötlemishälbed ja pinnakihi defektid, samuti teostatava siirde juures esinev töödeldava tooriku paigaldushälve. Käsitletav töötlemisvarude määramise meetod tugineb töötlemise tehnoloogilise protsessi konkreetsete tingimuste arvestamisele. Ta selgitab välja materjali kokkuhoiu ja mehaanilise töötlemise töömahu vähendamise võimalused nii uute tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel kui ka olemasolevate analüüsimisel.

Minimaalse vahetöötlemisvaru suuruse määravad järgmised tegurid.[1]

1. Ebatasasuste kõrgus $R_{z_{i-1}}$, mis kujunes antud pinna töötlemisel eelneva naabersiirde juures. Esimesel operatsioonil võetakse see suurus lähtetooriku järgi. Teise operatsiooni puhul on vaja teada esimesel operatsioonil kujunenud ebatasasusi jne. $R_{z_{i-1}}$ suurus ole-

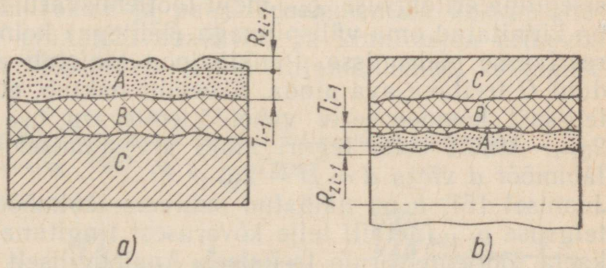
[1] Eelneval töötlemisel kujunevaid suurusi tähistatakse edaspidi indeksiga $i-1$ ja teostatavat siiret indeksiga i.

neb eelneva töötlemise meetodist, režiimist ja tingimustest (vt. II ptk.).

2. Pinnakihi olukord ja sügavus T_{i-1}, mis kujunes eelneval tehnoloogilisel naabersiirdel. See kiht erineb põhimetallist ning ta tuleb antud siirdel täielikult või osaliselt eemaldada. Hallmalmist valandeil koosneb pinnakiht perliitkoorikust, mille välistsoonis on sageli vormiliiva osakesi. Lõikeriistale soodsate töötingimuste loomiseks eemaldatakse see kiht täielikult antud pinna töötlemise esimesel siirdel. Paljud masinadetailid (näiteks automootorite jaotusvõllid) valatakse valgenenud pinnakihiga. Järgneval töötlemisel on soovitatav, vastupidiselt eelnevale, see kiht detaili kulumispüsivuse suurendamiseks võimalikult säilitada. Sepistatud ja stantsitud terastoorikutel iseloomustab pinnakihti dekarboniseeritud tsooni olemasolu. See kiht tuleb täielikult eemaldada, kuna ta vähendab metalli väsimuspiiri ja tema positiivseid omadusi.

Lõiketöötlemise tulemusena tekib detaili pinnakihis kalestunud tsoon. Edasisel töötlemisel on otstarbekas see tsoon säilitada, kuna ta tõstab detaili kulumiskindlust ja võimaldab saada siledamat pinda.

Peale pindkarastamist on soovitatav detaili pinnakiht samuti võimalikult säilitada, kuna selle väärtuslikud omadused vähenevad mahatöödeldava kihi paksuse suurenemisel kiiresti.

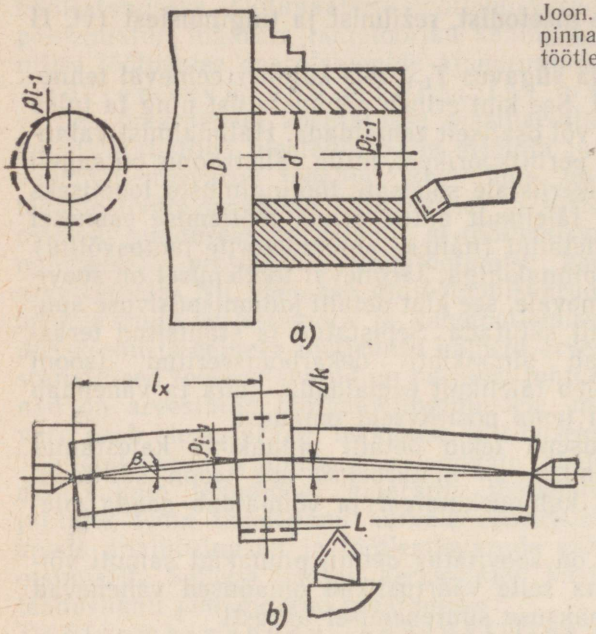


Joon. 156. Tooriku pinnakiht: *a* — välispinna töötlemisel; *b* — ava de töötlemisel

Joonisel 156 on näidatud tooriku pinnakihi skeemid, kus *A* — eemaldatav defektne pinnakihi osa, *B* — mitteemaldatav pinnakihi osa, *C* — metalli normaalstruktuur, $R_{z_{i-1}}$ — ebatasasuste kõrgus, T_{i-1} — defektse pinnakihi sügavus.

3. Töödeldava pinna ruumiline hälve ϱ_{i-1} tooriku lähete suhtes. Ruumilisteks hälveteks on: võllide, ketaste ja hülsside toorikute välispindade ja ava pindade eritelgsus; astmeliste võllide astmete eritelgsus lähtamiskaeltega või tsentriavade joonega; otspinna ebaristseis tooriku silindrilise lähte teljega; korpusdetailide töödeldava pinna ja lähte ebaparalleelsus ja teised töödeldavate pindade ja lähete vastastikuse asendi hälbed.

Joonisel 157, *a* on näidatud skeem, mis illustreerib puksi väli- ja



Joon. 157. Skeem töödeldava pinna ruumiliste hälvete mõjust töötlemisvarule

sisepinna eritelgsuse ϱ_{i-1} mõju töötlemisvarule sisetreimisel. Puks on kinnitatud oma välispinnaga (lähtega) kolmepakilisse isetsentreerivasse padrunisse. Punktiirjoon tähistab ettenähtud läbimõõduni D treitava ava pinda. Skeemilt nähtub, et puksi pindade eritelgsust kompenseeriv vahetöötlemisvaru osa (läbimõõdule) on $2\varrho_{i-1}$. Ainult selle teguri mõju arvestamisel tuleks tooriku ava läbimõõt d võtta $d = D - 2\varrho_{i-1}$.

Joonisel 157, *b* on näidatud suurema läbimõõduga võllikaela eritelgsuse ϱ_{i-1} (detaili telje kõverusest tingituna) mõju skeem selle kaela töötlemisvarule treimisel. Analoogiliselt eelmise juhuga on vahetöötlemisvaru eritelgsust kompenseeriv juurdelisatav osa $2\varrho_{i-1}$. ϱ_{i-1} suuruse võib omakorda väljendada tooriku mõõtmete ja kõveruse Δ_k kaudu. Asendades kõverdunud telje murdjoonega, saame ligikaudu

$$\varrho_{i-1} = \operatorname{tg} \beta l_x = 2 \frac{\Delta_k}{L} l_x,$$

kus L — tooriku pikkus;

l_x — töödeldava kaela keskkoha kaugus lähimast toest.

Ruumilised hälbed tekivad tooriku ebatäpsest valmistamisest ja ebatäpsetest mehaanilise töötlemise operatsioonidest. Mehaanilisel töötlemisel võib esineda ka tooriku esialgsete hälvete vähendatud kopeerimine.

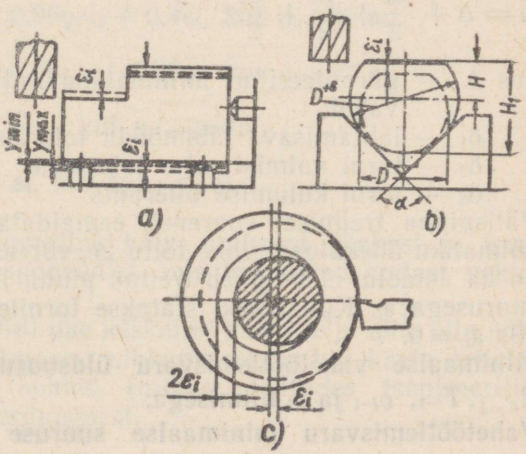
Ruumiliste hälvete mõju töötlemisvaruna eemaldatava metalli kogusele oleneb tooriku lähtamise skeemist. Ketaste klassi kuuluvate detailide mehaanilisel töötlemisel on näiteks otstarbekohane algul välisest silindrilisest pinnast lähtamisel töödelda ava sisetreimisega (eritelgsuse kaotamiseks) ja seejärel avast lähtamisel treida välispind. Vastupidise töötlemisjärjekorra juures eemaldatakse välispinnalt (selle detaili domineeriv pind) mahult tunduvalt suurem kogus metalli.

4. Paigaldushälve ε_i, mis esineb sooritatava operatsiooni juures. Paigaldushälbe tõttu ei paigutu kogu partii toorikute töödeldavad pinnad pingis ühesugusesse asukohta. Töödeldavate pindade asendi erinevus tuleb kompenseerida vahetöötlemisvaru vastava juurdelisatava osaga.[1]

Erinevalt II ptk. käsitletud paigaldushälbest, mis kujutas endast mehaanilisel töötlemisel saadava mõõtme üldhälbe koostisosa, iseloomustab paigaldushälvet vahetöötlemisvaru määramisel töödeldava pinna nihkumise suurus. See nihkumine tekib tooriku lähete ebatäpsusest tema kinnitamisel, rakise paigalduselementide ebatäpsest valmistamisest ja kulumisest ja ka rihtimishälbest detaili individuaalsel paigaldamisel.

Joonisel 158, *a* on näidatud paigaldushälbe ε_i kujunemise skeem kinnitusjõust esilekutsutud tooriku allanihkumisega selle lähete deformeerumise tõttu rakise ja paigalduselementide kokkupuutekohtades. Toorikute pinnakihi ebaühtlus ja kinnitusjõu erinevus põhjustavad tooriku töödeldava pinna allanihkumise kõikumise

[1] Selle kohta vt. В. П. Фираго. Поправка к методикам расчета припусков. — Вестник машиностроения, 1967, № 2. — *Toim.*



Joon. 158. Skeem töödeldava tooriku paigaldushälbe mõjust töötlemisvarule

partii kohta piires $y_{max} \ldots y_{min}$. ε_i suuruseks on y_{max} ja y_{min} vahe. Ühesuguse (ehkki suure) allanihkumise korral oleks paigaldushälve null, kuna töödeldava tasapinna nihkumist võiks arvesse võtta pingi häälestamisel. Paljudel juhtudel, eriti kui kasutatakse kinnitusjõudude ühtlust tagavaid kinnitusseadmeid (pneumaatilised ja teised seadmed), võib paigaldushälvet selle väiksuse tõttu mitte arvestada.

Joonisel 158, b on toodud silindrilise lähtega (läbimõõt $D^{+\delta}$) tooriku prismale paigaldamise skeem. Kui võtta mõõde H toorikute partii ulatuses konstantseks, võib geomeetrilistest seostest leida töödeldava tasapinna nihkumise suuruse kõrguse suunas. Kasutades tuntud lähtamishälbe määramise avaldist, saame:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta}{2} \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}},$$

kus α — prisma nurk.

Kui lugeda partii ulatuses konstantseks mõõde H_1, siis on vastav paigaldushälve

$$\varepsilon_i = \frac{\delta}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

Joonisel 158, *c* on antud tooriku lähtamisava järgi tornile paigaldamise skeem (lõtkuga paigaldamine). Tooriku maksimaalne võimalik nihe neutraalasendist ühele või teisele poole on

$$\varepsilon_i = \Delta + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_3}{2},$$

kus Δ — garanteeritud minimaalne radiaallõtk tooriku ja torni vahel;
δ_1 — lähtamisava läbimõõdu tolerants;
δ_2 — torni valmistamise tolerants;
δ_3 — torni kulumise tolerants.

Välispinna treimisel suureneb eemaldatav töötlemisvaru tooriku võimaliku ühekülgse nihke tõttu $2\varepsilon_i$ võrra. Selle skeemi puuduseks on ka asjaolu, et kujuneb treitud pinna ja lähtamisava eritelgsus suurusega ε_i. Kui toorik istatakse tornile garanteeritud pinguga, siis $\varepsilon_i = 0$.

Minimaalse vahetöötlemisvaru üldsuurus määratakse suuruste R_{z_1}, T_{i-1}, ϱ_{i-1} ja ε_i liitmisega.

Vahetöötlemisvaru minimaalse suuruse määramisel ei võeta

arvesse töödeldava pinna mõõtme hälvet ja kujuhälvet (pöördpindade ovaalsus, koonilisus, tünnikujulisus, korsetikujulisus; tasapindade nõgusus, kumerus, kõverus jt.). Seda tingib asjaolu, et välispindade töötlemisel arvestatakse vahetöötlemisvaru minimaalne suurus tooriku väiksemast piirmõõtmest, sisepindade töötlemisel aga tooriku suuremast piirmõõtmest.

Kõik kõrvalekaldumised nendest mõõtmetest suurendavad tegelikku töötlemisvaru, võrreldes arvutusliku minimaalse töötlemisvaruga. Töödeldavate pindade kujuhälve moodustab tavaliselt teatud osa vastava tooriku mõõtme tolerantsist.

Ruumilised hälbed ja paigaldushälbed kujutavad endast vektoreid, kuna neil on peale suuruse ka suund. Neid tuleb liita vektorite liitmise reegli järgi.

Tasapindade töötlemisel on tegemist ühel sirgel paiknevate vektoritega ϱ_{i-1} ja ε_i. Sel juhul

$$|\overline{\varrho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i| = (\varrho_{i-1} + \varepsilon_i),$$

s. o. vektorite summa on määratud vektorite arvväärtuste aritmeetilise summaga.

Välis- ja sisepöördpindade töötlemisel võivad vektorid ϱ_{i-1} ja ε_i paigutuda meelevaldse nurga alla, mida pole võimalik ette näha. Nende vektorite summa kõige tõenäolisem arvväärtus määratakse nende liitmisel ruutjuure reegli järgi:

$$|\overline{\varrho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i| = \sqrt{\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}.$$

Ligikaudsete arvutuste meetodi rakendamisel võib saada lihtsad ligikaudsed valemid:

$$|\overline{\varrho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i| = \sqrt{\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \approx 0{,}96\varrho_{i-1} + 0{,}4\varepsilon_i, \text{ kui } \varrho_{i-1} > \varepsilon_i;$$

$$|\overline{\varrho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i| = \sqrt{\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \approx 0{,}4\varrho_{i-1} + 0{,}96\varepsilon_i, \text{ kui } \varrho_{i-1} < \varepsilon_i;$$

$$|\overline{\varrho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i| = \sqrt{\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \approx \varrho_{i-1}, \text{ kui } \varrho_{i-1} \geqslant 4\varepsilon_i;$$

$$|\overline{\varrho}_{i-1} + \overline{\varepsilon}_i| = \sqrt{\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \approx \varepsilon_i, \text{ kui } 4\varrho_{i-1} \leqslant \varepsilon_i.$$

Mõnel juhul koosneb ruumiline hälve mitmest (kahest ja isegi kolmest) liidetavast komponendist, mis kujutavad endast vektoreid.

Näiteks võib astmelise võlli ühe keskmise kaela telje nihe olla põhjustatud tsentriavade telgjoone nihkumisest, antud kaela eritelgsusest äärmiste kaelte suhtes (millest lähtudes tsentreeriti), samuti tooriku telje kõverdumisest.

Kõige tõenäolisem ruumiliste hälvete summa väärtus ϱ_{i-1} määratakse nendel juhtudel järgmiste valemite järgi:

$$\varrho_{i-1} = |\bar{\varrho}_1 + \bar{\varrho}_2| = \sqrt{\varrho_1^2 + \varrho_2^2} \approx 0{,}96\varrho_1 + 0{,}4\varrho_2, \text{ kui } \varrho_1 > \varrho_2;$$

$$\varrho_{i-1} = |\bar{\varrho}_1 + \bar{\varrho}_2 + \bar{\varrho}_3| = \sqrt{\varrho_1^2 + \varrho_2^2 + \varrho_3^2} \approx$$
$$\approx 0{,}96\varrho_1 + 0{,}39\varrho_2 + 0{,}3\varrho_3, \text{ kui } \varrho_1 > \varrho_2 > \varrho_3.$$

Seega saame minimaalse vahetöötlemisvaru määramiseks järgmised arvutusvalemid:
töötlemisvaru ühele küljele vastastikku või üksikult asetsevate tasapindade järjestikusel töötlemisel

$$Z_{i\,\min} = (R_{z\,i-1} + T_{i-1}) + (\varrho_{i-1} + \varepsilon_i); \tag{85}$$

töötlemisvaru kahele küljele vastastikku asetsevate tasapindade paralleelsel töötlemisel

$$2Z_{i\,\min} = 2[(R_{z\,i-1} + T_{i-1}) + (\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2)]; \tag{86}$$

töötlemisvaru läbimõõdule välis- või sisepöördpindade töötlemisel

$$2Z_{i\,\min} = 2[(R_{z\,i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\varrho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}]. \tag{87}$$

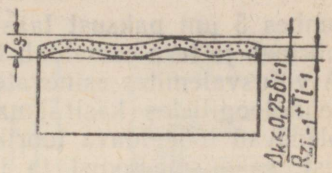
Minimaalse töötlemisvaru tähises esinev indeks i näitab, et see töötlemisvaru eemaldatakse teostataval tehnoloogilisel siirdel.
Esitatud üldiste struktuurivalemite põhjal võib saada konkreetsetele töötlemisjuhtudele vastavaid arvutusvalemeid. Olenevalt operatsiooni teostamise tingimustest jäetakse nendes valemites ühed või teised liikmed välja. Vaatleme erijuhtudele vastavate arvutusvalemite mõningaid näiteid.
Tsentrite vahele paigaldatud tooriku silindrilise pinna treimisel võib paigaldushälbe võtta võrdseks nulliga. Sel juhul on töötlemisvaru läbimõõdule

$$2Z_{i\,\min} = 2[(R_{z\,i-1} + T_{i-1}) + \varrho_{i-1}]. \tag{88}$$

Avade hõõritsemisel ujuva hõõritsaga ja kammlõikamisel ei kõrvaldata ava telje nihkumist ega külisjooksu, puudub paigaldushälve. Töötlemisvaru arvutatakse valemiga

$$2Z_{i\,\min} = 2(R_{z\,i-1} + T_{i-1}). \tag{89}$$

Juhul kui silindriliste pindade superfinišprotsessiga töötlemisel



Joon. 159. Töötlemisvaru määramise skeem juhul, kui ei taotleta mõõtmeid

või poleerimisel saadakse vaid pinnakareduse vähenemine, määratakse töötlemisvaru pinna mikrokonaruste kõrgusega, s. o.

$$2Z_{i\,\min} = 2R_{z\,i-1}.$$

Töötlemata pinna silendamisel määratud lõikeservaga või abrasiivlõikeriistadega (mõõtmeid taotlemata) määratakse töötlemisvaru (Z_s) pinnakihti iseloomustavate suuruste ($R_{z_{i-1}}$ ja T_{i-1}) ja töödeldava pinna kujuhälbe (Δ_k) summana (joon. 159). Kujuhälve Δ_k ei ületa tavaliselt töötlemata tooriku ühele küljele tuleva tolerantsi $^1/_4$ osa.

Seega kujuneb antud töötlemisjuhul järgmine arvutusvalem:

$$Z_s = (R_{z_{i-1}} + T_{i-1}) - 0{,}25\delta_{i-1}. \qquad (90)$$

Peale termilist töötlemist toimuval lihvimisel tuleb tooriku pinnakiht võimalikult säilitada, järelikult tuleb liidetav T_{i-1} jätta arvutusvalemist välja. Ruumilisi hälbeid põhjustavad võimalikud kõmeldumised, mis esinevad tooriku termilisel või termokeemilisel töötlemisel, tuleb kompenseerida suurusega ϱ_{i-1}.

Nendel juhtudel saame järgmised arvutusvalemid. Paigaldushälbe esinemisel

$$Z_{i\,\min} = R_{z\,i-1} + \varrho_{i-1} + \varepsilon_i; \qquad (91)$$

$$2Z_{i\,\min} = 2(R_{z\,i-1} + \sqrt{\varrho^2_{i-1} + \varepsilon^2_i}). \qquad (92)$$

Kui paigaldushäive puudub, siis

$$Z_{i\,\min} = R_{z\,i-1} + \varrho_{i-1}; \qquad (93)$$

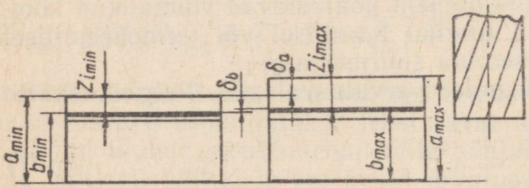
$$2Z_{i\,\min} = 2(R_{z\,i-1} + \varrho_{i-1}). \qquad (94)$$

Komponendi T_{i-1} väljajätmine vajalike töötlemisvarude määramise arvutusvalemeist peale termilist töötlemist on põhjendatud sel eesmärgil läbiviidud eriuurimiste tulemustega.

Vahetöötlemisvarud arvutatakse peale tooriku saamise ja järgneva mehaanilise töötlemise tehnoloogiliste protsesside kõikide tingimuste ja iseärasuste kindlaksmääramist.

Töötlemisvaru ei tohi olla väiksem sellest lõikesügavusest, mille juures normaalselt teritatud lõikeriista lõikeserva töö muutub ebastabiilseks. Nii võib näiteks teravalt teritatud lõiketera eemaldada

umbes 5 μm paksust laastu. Ent peale lühiajalist tööd lõikeserv nürineb ja tera eemaldab vaid üle 10 ... 20 μm paksust laastu.
Arvutusvalemites esinevate komponentide arvväärtused on toodud tehnoloogilistes käsiraamatutes [1]. Nende komponentide suurused olenevad töödeldava tooriku kujust ja mõõtmetest, selle materjalist, saamismeetodist ja järgnevast töötlemisest, samuti tooriku tööpinki paigaldamise viisist.
Töötlemisvarude arvutamise käsiraamatulised materjalid antakse detailide klasside kaupa olenevalt elementaarpindade mõõtmetest, töödeldavast materjalist ja töötlemismeetodist.
Teatud masinaehitusharu käsiraamatulised andmed koostatakse vastavalt selle masinaehitusharu masinadetailide klassifikatsioonide ja tootmistehnoloogia iseärasustele.
Tooriku vahe- ja lähtemõõtmete määramine. Arvutatud vahetöötlemisvarude järgi määratakse tooriku piirmõõtmed kõikidele tehnoloogilistele siiretele valmisdetailist kuni lähtetoorikuni.
Häälestatud pinkides esineb ühe läbimiga töötlemisel tehnoloogilise süsteemi elementide elastse deformatsiooni tõttu kopeerimisnähe. Viimane seisneb selles, et väiksema piirmõõtmega a_{min} tooriku töötlemisel (joon. 160) tuleb taotletav mõõde samuti minimaalne b_{min}, aga maksimaalse mõõtmega a_{max} tooriku töötlemisel saadakse taotletav mõõde b_{max} maksimaalne.



Joon. 160. Minimaalse ja maksimaalse vahetöötlemisvaru määramise skeem häälestatud pinkides töötlemisel

Nendes tingimustes määratakse eespool saadud minimaalse vahetöötlemisvaru suurus vahena:

$$Z_{i\,min} = a_{min} - b_{min}. \tag{95}$$

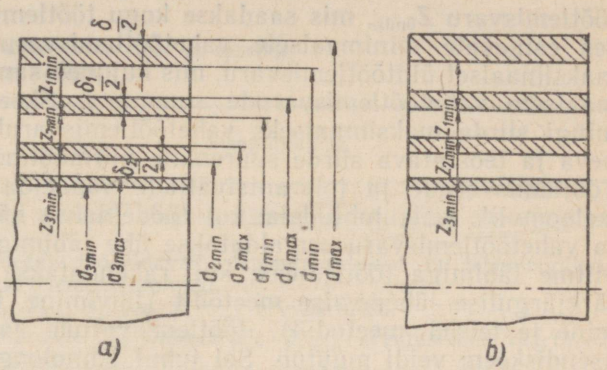
Maksimaalne töötlemisvaru

$$Z_{i\,max} = a_{max} - b_{max}. \tag{96}$$

Võttes arvesse, et $a_{max} = a_{min} + \delta_a$ ja $b_{max} = b_{min} + \delta_b$, saame:

$$Z_{i\,max} = a_{min} + \delta_a - \delta_b - b_{min}$$

[1] Справочник технолога. М., Машгиз, 1964.



Joon. 161. Tooriku tehnoloogilistele siiretele vastavate vahetöötlemisvarude ja piirmõõtmete asendi skeem häälestatud pingis töötlemisel

või

$$Z_{i_{max}} = Z_{i_{min}} + \delta_a - \delta_b. \qquad (97)$$

Nendes valemites on δ_a — tooriku mõõtme tolerants ja δ_b — taotletava mõõtme tolerants.

Joonisel 161, *a* on toodud näitena tooriku vahe- ja lähtemõõtmete suhtes paigutatud vahetöötlemisvarude ja -tolerantside asendi skeem. Tooriku silindriline välispind töödeldakse marsruudi järgi: kooriv-, puhas- ja peentreimine.

Skeemi koostamisel lähtutakse valmisdetaili tööjoonisega antud piirmõõtmetest d_{3min} ja d_{3max}, mis saadakse pinna viimasel töötlemisoperatsioonil — peentreimisel.

Valmisdetaili väiksemale piirmõõtmele liidame peentreimise operatsiooni minimaalse töötlemisvaru Z_{3min} (arvuline indeks näitab operatsiooni järjekorda antud pinna mehaanilise töötlemise tehnoloogilises marsruudis) ja saame tooriku väiksema piirmõõtme peale puhastreimist d_{2min}.

Tooriku väiksema piirmõõtme d_{1min} saamiseks peale koorivtreimist liidame mõõtmele d_{2min} puhastreimise minimaalse töötlemisvaru Z_{2min}.

Lähtetooriku väiksem piirmõõde D_{min} saadakse mõõtmele d_{1min} koorivtreimise minimaalse töötlemisvaru Z_{1min} liitmisega.

Tooriku töötlemise tehnoloogilistel siiretel esinevad suuremad piirmõõtmed d_{2max} ja d_{1max} ja lähtetooriku suurem piirmõõde D_{max} saadakse tehnoloogiliste tolerantside δ_2, δ_1 ja δ liitmisel vastavatele väiksematele piirmõõtmetele.

Toodud skeemi järgi on kerge määrata töötlemise minimaalset üld-

töötlemisvaru Z_{0min}, mis saadakse kogu töötlemismarsruudi ulatuses esinevate minimaalsete vahetöötlemisvarude liitmisega, ja maksimaalset üldtöötlemisvaru, mis kujuneb samuti kõikide maksimaalsete vahetöötlemisvarude summana. Skeemilt on näha, et mingi siirde maksimaalseks vahetöötlemisvaruks on tooriku eelneva ja teostatava siirde suuremate piirmõõtmete vahe.

Töötlemisvarude ja tolerantsiväljade vaadeldav asendiskeem on iseloomulik neile juhtudele, kui töödeldakse häälestatud pinkidel ja vahetöötlemisvaru eemaldatakse ühe läbimiga.

Mitme läbimiga töötlemisel, kui rakendatakse antud mõõtmele järkjärgulise lähenemise meetodit (lihvimine, hoonimine, plankimine ja teised meetodid), töötlemisvarude ja tolerantsiväljade asendiskeem veidi muutub. Sel juhul tehnoloogilise süsteemi elementide elastse deformeerumise nähet praktiliselt ei esine, kuna viimastel läbimitel esinevad jõud on väikesed ja töötaja püüab kaliibri läbivat poolt kasutades saavutada suuremat piirmõõdet. Sealjuures on töötaja poolt eemaldatava vahetöötlemisvaru minimaalseks suuruseks eelneva siirde väiksema piirmõõtme ja teostatava siirde suurema piirmõõtme vahe.

Selle töötlemisvaru suurus peab olema küllaldane eelneva töötlemise kõikide defektide ja ebatäpsuste kõrvaldamiseks. See on eriti oluline viimase operatsiooni puhul, kui saadakse valmisdetail.

Joonisel 161, *b* on näidatud töötlemisvarude väljade asendi skeem silindrilise välispinna töötlemisel eespool toodud tehnoloogilise marsruudi järgi, kus peentreimine on asendatud lihvimisega. Sellelt on näha, et seoses lihvimise minimaalse töötlemisvaru välja nihkumisega üldtöötlemisvaru veidi muutub.

Tooriku vahemõõtmete arvutamiseks vajalikud tehnoloogiliste siirete tolerantsid võetakse normatiivide järgi. Masstootmises ja automatiseeritud tootmises on otstarbekohane tolerantside suurused arvutada II peatükis toodud metoodika järgi, arvestades antud operatsiooni teostamise tingimusi.

Tehnoloogiliste siirete järgi saadud väiksemad tooriku piirmõõtmed on vaja ümardada arvutusliku (tavakohase) mõõtmeni. Välispindade mõõtmeid ümardatakse suuremate väärtuste poole, sisepindade mõõtmeid väiksemate väärtuste poole. Seda tuleb teha kümnendmurru selle järguni, millega on antud iga siirde mõõtme tolerants.

Siirete kaupa toimuva töötlemisvarude ja tooriku piirmõõtmete arvutamise eeskiri on toodud tabelis 12.

Töötlemisvarude arvutamise iseärasused detailide töötlemisel individuaalse saamise meetodiga ja koostatud sõlmede töötlemisel. Üksiktoorikute töötlemisvarude arvutusel on eriline tähtsus raskemasinaehituses.

Tabel 12

Siirete kaupa toimuva töötlemisvarude ja tooriku piirmõõtmete arvutamise eeskiri

Välispindadele	Sisepindadele
1. Määrata töödeldavale toorikule paigalduslähted ja töötlemise tehnoloogiline marsruut 2. Märkida arvutuskaardile töödeldavad elementaarpinnad ja tehnoloogiliste siirete järjekord igal elementaarpinnal. 3. Kirjutada üles $R_{z\,i-1}$, T_{i-1}, ϱ_{i-1}, ε_i ja δ_{i-1} arvväärtused. 4. Määrata kõikidele siiretele töötlemisvarude $Z_{i\,\min}$ arvutuslikud väärtused.	
5. Kirjutada viimasele siirdele lähtrisse «Arvutuslik mõõde» detaili joonisega etteantud väiksem piirmõõde	5. Kirjutada viimasele siirdele lähtrisse «Arvutuslik mõõde» detaili joonisega etteantud suurem piirmõõde
6. Määrata arvutuslik mõõde viimasele siirdele eelneval siirdel, liites joonisega etteantud väiksemale piirmõõtmele arvutusliku töötlemisvaru $Z_{i\,\min}$	6. Määrata arvutuslik mõõde viimasele siirdele eelneval siirdel, lahutades joonisega etteantud suuremast piirmõõtmest arvutusliku töötlemisvaru $Z_{i\,\min}$
7. Määrata järk-järgult arvutuslikud mõõtmed igale eelnevale siirdele, liites järgneva naabersiirde arvutuslikule mõõtmele arvutusliku töötlemisvaru $Z_{i\,\min}$	7. Määrata järk-järgult arvutuslikud mõõtmed igale eelnevale siirdele, lahutades järgneva naabersiirde arvutuslikust mõõtmest arvutusliku töötlemisvaru $Z_{i\,\min}$
8. Kirjutada üles väiksemad piirmõõtmed kõigile tehnoloogilistele siiretele, ümardades neid arvutuslike mõõtmete suurendamisega; ümardada kümnendmurru selle järguni, millega on antud mõõtme tolerants igale siirdele	8. Kirjutada üles suuremad piirmõõtmed kõigile tehnoloogilistele siiretele, ümardades neid arvutuslike mõõtmete vähendamisega; ümardada kümnendmurru selle järguni, millega on antud mõõtme tolerants igale siirdele
9. Määrata suuremad piirmõõtmed, liites tolerantsi väiksemale ümardatud piirmõõtmele	9. Määrata väiksemad piirmõõtmed, lahutades tolerantsi suuremast ümardatud piirmõõtmest
10. Kirjutada üles töötlemisvarude piirväärtused: $Z_{i\,\max}$ kui suuremate piirmõõtmete vahe ja $Z_{i\,\min}$ kui väiksemate piirmõõtmete vahe eelneval ja teostataval siirdel	10. Kirjutada üles töötlemisvarude piirväärtused: $Z_{i\,\max}$ kui väiksemate piirmõõtmete vahe ja $Z_{i\,\min}$ kui suuremate piirmõõtmete vahe eelneval ja teostataval siirdel
11. Määrata vahetöötlemisvarude liitmisega üldtöötlemisvarud $Z_{0\,\max}$ ja $Z_{0\,\min}$	

Tabel 12, järg

Välispindadele	Sisepindadele

12. Proovida tehtud arvutuste õigsust töötlemisvaruде vahe $Z_{l\,max} - Z_{i\,min}$ kõrvutamisega tolerantside vahega $\delta_a - \delta_b$. Sealjuures peab vahetöötlemisvarude vahe olema vahemõõtmete tolerantside vahega võrdne, üldtöötlemisvarude vahe aga võrdne lähtetooriku ja valmisdetaili mõõtmete tolerantside vahega

Märkused. 1. Seoses välis- ja sisepindade mõõtmete arvutamise erinevustega soovitatakse arvutusvigade vältimiseks grupeerida arvutuskaardil eraldi välis- ja sisepinnad (mitte kirjutada neid vaheldumisi).
2. Omavahel seotud tasapindade töötlemisel muutuvate lähetega soovitatakse koostada mõõtahelad, mis määravad töödeldava pinna ja mõõtelähte vastastikuse seose.
3. Vastastikku asetsevate tasapindade paralleelsel töötlemisel (tasapindade freesimine, otspindade treimine jms.) soovitatakse töötlemistäpsuse tõstmiseks töötlemisvarud võrdsustada, muutes suurema nendest kahekordseks.

Suurendatud töötlemisvarud põhjustavad suurt metallikadu laastudena ja töötlemisaja pikenemist. Samal ajal on suurte detailide töötlemisel täiesti lubamatu praagi tekkimine ebapiisavate töötlemisvarude tõttu.
Antud tingimustes tugineb töötlemisvarude arvutus varemtoodud põhimõtetele. Ent siin tuleb arvestada tooriku saamise protsesside ja järgneva mehaanilise töötlemise individuaalseid iseärasusi.
Üksiktoorikuid töödeldakse peale nende individuaalset ülesrihtimist pingis. Ülesrihtimata detaile paigaldada võimaldavaid erirakiseid kasutatakse antud juhul väga harva. Seepärast tuleb arvutusvalemis paigaldushälbena mõista tooriku ülesrihtimishälvet. Selle hälbe suurus oleneb ülesrihtimismeetodist.
Vabasepistamisega saadavate toorikute ruumilisteks hälveteks on üldine ja kohalik kõverus, võllide astmete eritelgsus, ketaste, rõngaste ja pukside välispinna ja ava eritelgsus.
Üldine kõverus

$$\Delta_k = \Delta_e L,$$

kus Δ_e — erikõverus mm/m; L — tooriku pikkus.
Tooriku üksiku piirkonna kohalik kõverus

$$\Delta_{kk} = \Delta_e l,$$

kus l — ristlõike (mille jaoks määratakse kõverus) kaugus tooriku lähimast otspinnast.
Märkimise järgi teostatud tsentreerimise hälve

$$\varrho_t = 0{,}25\delta_{toor},$$

kus δ_{toor} — tooriku suurema astme läbimõõdu tolerants. Sama valemit võib kasutada astmeliste võllide sepiste astmete samatelgsuse hälvete määramiseks.

Vabasepistamisel saadud avade ekstsentrilisus välispindade suhtes

$$\varrho_{eks} = 0{,}18(d - d_v),$$

kus d — töödeldud ava läbimõõt;

d_v — venitustorni läbimõõt, võetud FOCT 7062-54 järgi.

Valanditel olenevad ruumilised hälbed põhiliselt kärnide (mis moodustavad avasid ja toorikute sisepindu) nihkumisest. Valtsmaterjalist toorikute ruumiliste hälvete põhiliikideks on tsentreerimishälbed ja kõverus.

Vahetöötlemisvarude arvutamisel tuleb arvesse võtta eelneval tehnoloogilisel naabersiirdel termilise töötlemise tagajärjel tekkivat kõmmeldumist.

Real juhtudel tuleb töödelda osaliselt või täielikult koostatud sõlmi (lahtivõetavate reduktorikorpuste sisetreimine, kepsu suurema ava sisetreimine jm.). Nendele operatsioonidele vajaliku töötlemisvaru arvutamisel tuleb arvesse võtta koostatud detailide võimalik suhteline nihkumine, mis suurendab koostöötlemise töötlemisvaru. Nende nihete suuruse määramisel tuleb arvestada tooriku, eelneva mehaanilise töötlemise ja koostamise hälbeid.

Koostamisega seotud hälvete iseloom ja suurus tuleb määrata igale üksikjuhule eraldi. Nii tuleb näiteks korpusesse sissepressitud puksi peentreimise töötlemisvaru määrata puksi pinguga istamisel tekkivat siseläbimõõdu vähenemist arvestades.

Eespool vaadeldud tehnoloogiliste siirete kaupa toimuvat töötlemisvarude ja tooriku vahemõõtmete määramise arvutuslik-analüütilist meetodit tuleb rakendada mass-, kesk- ja suurseeriatootmises. Ka raskemasinaehituses on seda otstarbekohane rakendada, isegi suurte detailide üksikvalmistamisel. Kõikidel loetletud juhtudel võib see meetod anda metalli tunduvat kokkuhoidu, vähendada töömahukust ja alandada töötlemise omahinda.

Normatiivide järgi võib vahe- ja üldtöötlemisvarusid kindlaks määrata (tabeliline meetod) vaid individuaal- ja väikeseeriatootmises väikeste ja suhteliselt odavate detailide valmistamisel. Nendes tingimustes pole arvutuslik-analüütiline meetod rakendatav, kuna töötlemisvarude määramise alusena esinevat tehnoloogilist protsessi ei töötata siin üldse välja või projekteeritakse see väga orienteerivalt.

Mehaanilise töötlemise operatsioonide projekteerimine. Üksiku operatsiooni projekteerimiseks on vaja teada tooriku töötlemise marsruuti, tema lähtamise ja kinnituse skeemi, milliseid pindu on vaja töödelda ja millise täpsusega, millised pinnad töödeldi

eelnevatel operatsioonidel ja millise täpsusega, töötlemisvaru suurust, ja kui operatsioon töötatakse välja vooluliinile, siis ka töötlemistakti. Operatsiooni projekteerimisel täpsustatakse selle varem koostatud marsruuttehnoloogiaga visandatud sisu, määratakse kindlaks siirete järjekord ja nende ajalise ühitamise võimalus, valitakse seadmed, lõikeriistad ja rakised (või antakse nende konstrueerimise ülesanne), määratakse lõikerežiimid ja operatsioonide sooritamise ajanormid, määratakse kindlaks häälestusmõõtmed ja koostatakse ka häälestusskeem. Operatsioonide projekteerimine on paljude lahendusvariantidega ülesanne. Üksikuid võimalikke variante hinnatakse tootlikkuse ja omahinna järgi, arvestades tehnilis-ökonoomilist põhimõtet. Tehnoloogilise operatsiooni meelevaldse variandi projekteerimisel püüab tehnoloog vähendada tükiaega. Vooltootmisel kooskõlastatakse tükiaeg taktiga; see peab olema nii suur, et oleks kindlustatud vooluliini etteantud tootlikkus. Tükiaja vähendamine võimaldab real juhtudel paremini organiseerida mitme pingi teenindamist liinil.

Põhiaja elementide kestust vähendatakse kõrge tootlikkusega lõikeriistade ja lõikerežiimide rakendamisega, läbimite ja siirete arvu vähendamisega pindade töötlemisel. Abiaega vähendatakse pingi tühikäikude aja vähendamisega ja kaasaegsete kiiresti toimivate kinnitusseadmetega paigaldusrakiste kasutamisega.

Iga operatiivaja elemendi ajalise kestuse vähendamise kõrval kasutatakse ka põhi- ja abiaja elementide ühitamist; sel juhul lähevad tükiaja koostisse kõikidest ühitatavatest elementidest vaid pikema ajalise kestusega elemendid. Sellise ühitamise võimalused olenevad pingioperatsiooni ülesehitusskeemist.

Pingioperatsioonide klassifikatsiooni puudutati esmakordselt Moskva Baumani-nimelise Kõrgema Tehnikakooli masinaehituse tehnoloogia kateedri töödes 1950. a. Seda on käsitlenud D. V. Tšarnko töös [20]. Operatsioonide kontsentreerimisele on pööratud palju tähelepanu F. S. Demjanjuki töödes [4]. Pingioperatsioonide ülesehituse skeeme on otstarbekohane klassifitseerida operatiivaja koostisosade järgi. Tükiaja ja töökoha organisatsioonilise teenindamise aja elemendid, samuti ettenähtud vaheajad olenevad operatiivajast ja ei mõjuta selle struktuuri.

Abiaja põhiajaga kattumise võimaluste analüüsimisel ei tohi vaadelda abiaega kui tervikut.

Tehnilises normeerimises kasutatav abiaja jaotamine kahte ossa (tooriku paigaldamise ja eemaldamise aeg, siirdega seotud aeg) ei vasta pingioperatsioonide tootlikkuse analüüsimise eesmärkidele; sel juhul on otstarbekohane jaotada abiaeg viide eraldi gruppi.

1. Tooriku pinki paigaldamise aeg ja tema pingist eemaldamise aeg peale töötlemise lõppemist t_{pg}. See grupp arvestab tükktoori-

kute rihtimisega või rihtimiseta paigaldamist töölauale või pinkide spindlitele kinnitatud rakistesse. Lattmaterjali kasutamisel sisaldab t_{pg} tsangi avanemise aja, lati edasiandmise aja tõkkeni ja tsangi sulgumise aja.

2. Pingi juhtimisvõtete sooritamise aeg operatsiooni sooritamisel t_{jt}. Siia kuulub ettenihkekiiruse, pöörlemiskiiruse, spindlite pöörlemissuuna või supordite ja kelkude liikumissuuna ümberlülitamise aeg; töölaudade, supordite või agregaatpeade tagasiliikumise aeg; puuri väljatoomise aeg laastude eemaldamiseks jms.

3. Indekseerimisaeg t_{ind} mitmepositsioonilistes pinkides. See grupp arvestab spindliplokkide, töölaudade ja toorikuid kandvate trumlite pöördumist ja fikseerimist; toorikutega töölaudade või lõikeriistadega supordite sirgjoonelist nihkumist järgmistesse positsioonidesse; revolverpeade ja terahoidjate pöördumist; jagamisrakiste ja kanditavate konduktorite pöördumist, toorikute uude positsiooni nihutamist transpordiseadme või mõne teise mehhanismiga.

4. Lõikeriista vahetamise aeg t_{lv} operatsiooni üksikutel siiretel. Siia kuulub lõikeriistade järjestikuse paigaldamise aeg puurpingi kiirvahetuspadrunis (puur-avardi-hõõrits; puur-süvisti-keermepuur jne.); kiiresti vahetatavate konduktorpukside vahetamise aeg; sisetreiplokkide vahetamise aeg puurvõllidel ja vahetatavate puurvõllide paigaldamise aeg sisetreimistöödel jt.

5. Lõikeriista laastule seadmise aeg ja kontrollmõõtmiste aeg t_m. Seda aega arvestatakse mõõtmete individuaalsel saamisel ja ta ei esine ühegi pingioperatsiooni skeemi kasutamisel, kui mõõtmed saadakse automaatselt. Enamasti ei õnnestu t_m panna kattuma põhiajaga. Ent kasutades automatiseeritud kontrolli meetodeid võib mõõta pindu nende töötlemise protsessis, näiteks võllide lihvimisel.

Operatiivaja elementide kattumisvõimalused pingioperatsioonides olenevad töötlemiseks paigaldatavate toorikute arvust, töötlemisest osavõtvate lõikeriistade arvust ja pindade töötlemise järjekorrast nende lõikeriistadega.

Töötlemiseks paigaldatavate toorikute arvu järgi võib pingioperatsioonide skeemid jaotada ühekohalisteks ja mitmekohalisteks. Kasutatavate lõikeriistade arvu järgi võivad operatsioonide skeemid olla üheriistalised ja mitmeriistalised.

Tooriku pindade töötlemine järjestikuse või paralleelse lõikeriistade tööga ja samuti mitme tooriku järjestikune või paralleelne asetus lõikeriistade suhtes annavad operatsioonide skeemid, mis erinevad siirete ajalise ühitamise tingimuste poolest. Sellest olenevalt võivad operatsioonid olla järjestikused, paralleelsed või paralleel-järjestikused.

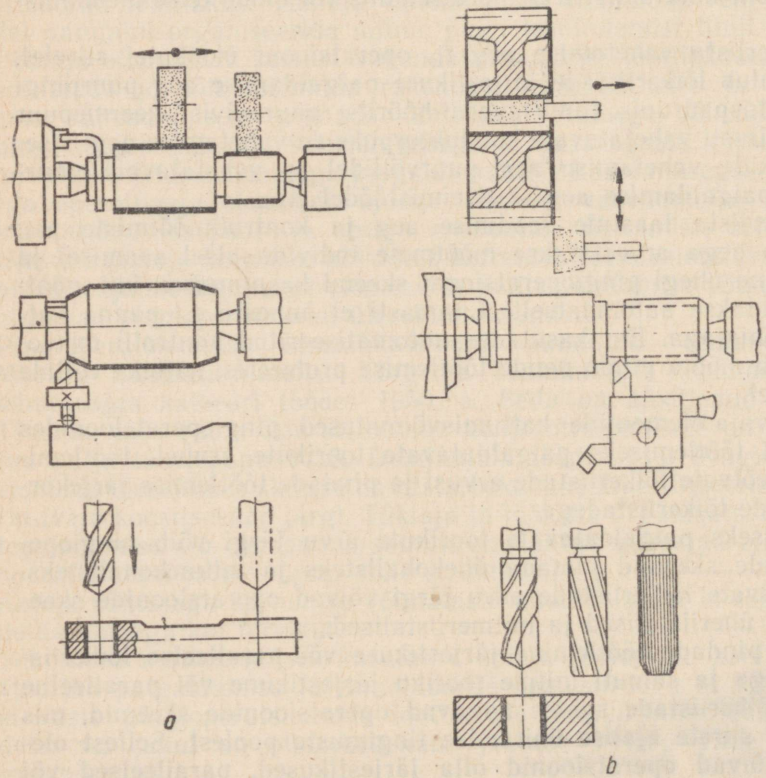
Toorikute paigaldamise ja eemaldamise aja kattumine oleneb töötl-

lemiseks paigaldatavate detailide arvust. Ühekohalised töötlemisskeemid ei võimalda tooriku paigaldamise ja eemaldamise aja kattumist põhiajaga.

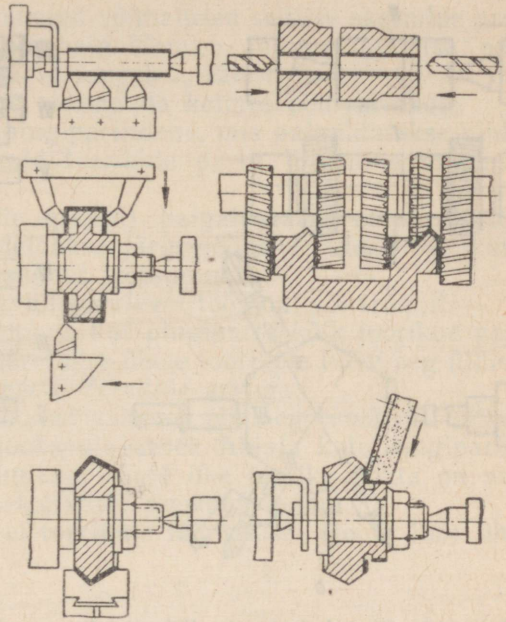
Mitmekohaliste skeemide juures võib toorikute paigaldamise ja eemaldamise aeg kattuda.

Järjestikuste skeemide korral puudub siirete ajalise kattumise võimalus ja tükiaega läheb kõikide siirete kestuste summa. Paralleel- ja paralleel-järjestikustel skeemidel on kattumisvõimalus olemas ja tükiaja määramisel arvestatav põhiaeg võrdub limiteeriva siirde kestusega või mitme limiteeriva siirde kestuste summaga.

Nimetatud tunnuste ühendamisel saadakse rida skeeme alates kõige vähem tootlikest ühekohalistest üheriistalistest järjestikus-



Joon. 162. Ühekohalise järjestikuse töötlemise skeem: *a* — ühelõikeriistaline; *b* — mitmelõikeriistaline



Joon. 163. Ühekohalise paralleeltöötlemise skeemid

test skeemidest ja lõpetades kõige tootlikumate mitmekohaliste mitmeriistaliste paralleelsete ja paralleel-järjestikuste skeemidega.

Ühe või mitme lõikeriistaga ühekohalisel järjestikusel töötlemisel (joon. 162) koosneb tükiaega minev mittekattuv põhiaeg t_0 kõikide siirete aegade summast:

$$t_o = \sum_{i=1}^{n} t_{oi}. \tag{98}$$

Ühekohalise ja üheriistalise skeemi puhul on abiaeg

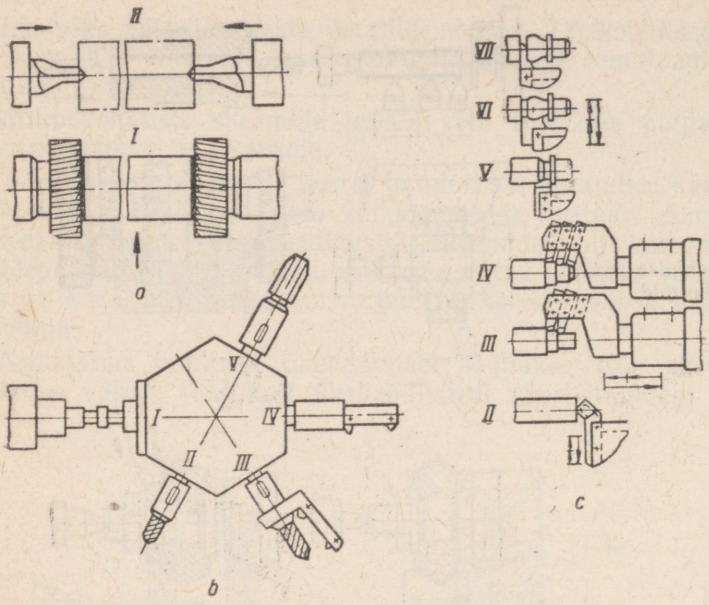
$$t_a = t_{pg} + t_{jt}. \tag{99}$$

Mitme lõikeriistaga töötlemine on seotud ajakaoga nende vahetamiseks t_{lv}. Sel juhul

$$t_a = t_{pg} + t_{jt} + t_{lv}. \tag{100}$$

Mõnikord läheb sellesse valemisse t_{lv} asemel t_{ind}; see juhus esineb neljakohalise terahoidja pööramisel lõiketerade järjestikuseks rakendamiseks treimistöödel.

Pindade ühekohalise paralleeltöötlemise juures (joon. 163) mää-



Joon. 164. Ühekohalise mitmelõikeriistalise paralleel-järjestikuse töötlemise skeemid ($a \ldots c$)

ratakse põhiaeg limiteeriva (kõige pikemaajalisema) siirde kestusega ($t_o = t_{ol}$).

Siirete paralleelteostamine saadakse lõikeriistade komplektide, koostatavate ja kujulõikeriistade kasutamisega.

Paralleel-järjestikused skeemid kujunevad tooriku mitme pinna üheaegsel ja mitmes järjestikuses asetuses töötlemisel; toorikud vahetavad asetusi, lõikeriistad on kinnitatud pöördpesasse või -trumlisse (joon. 164).

Mittekattuv põhiaeg on kattumata jäänud siirete aegade summa:

$$t_o = \sum_{i=1}^{n} t_{ol}. \qquad (101)$$

Operatsiooni abiaeg

$$t_a = t_{pg} + t_{jt} + t_{ind}. \qquad (102)$$

Mitmekohalistele skeemidele on iseloomulik efektiivsem siirete ühitumine kui ühekohaliste skeemide juures ja abiaja elementide

kattumine. Nii kujunevad suured võimalused selliste skeemide projekteerimiseks, kus toorikute paigaldamise ja eemaldamise aeg kattub põhiajaga; mõnel juhul langeb t_a täiesti ära.

Mitmekohalisi skeeme saab rakendada kolmes põhivariandis.

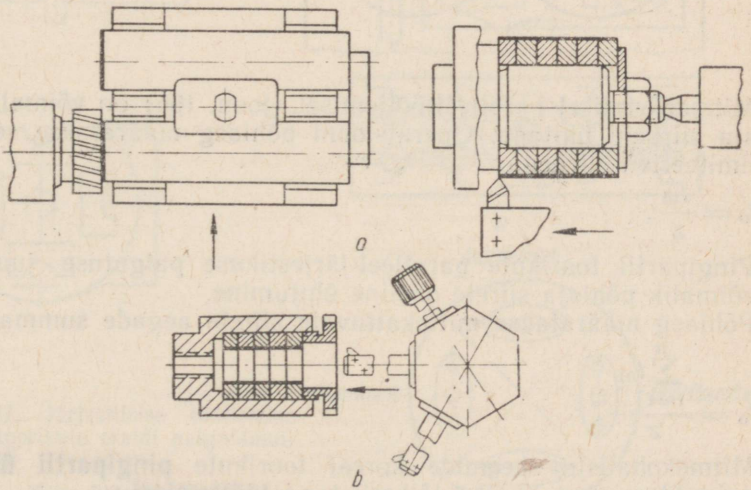
1. Toorikuid töödeldakse pingipartiidena, mis paigaldatakse pinki üheaegselt (näiteks väikeste toorikute partii lihvimine magnetlaual tasalihvpingis).
2. Toorikud (või toorikute grupid) paigaldatakse oma rakistes teistest sõltumata ja töödeldakse järgemööda (näiteks toorikute pendeltsükliga või pöördrakistes freesimine).
3. Töötlemine toimub pidevalt pöörleval töölaual või trumlil.

Mitmekohaliste skeemide puhul, kus pingipartii kõik toorikud paigaldatakse üheaegselt, määratakse ühele toorikule tulev aeg üldise ajakulu jagamisega pingipartii detailide arvuga.

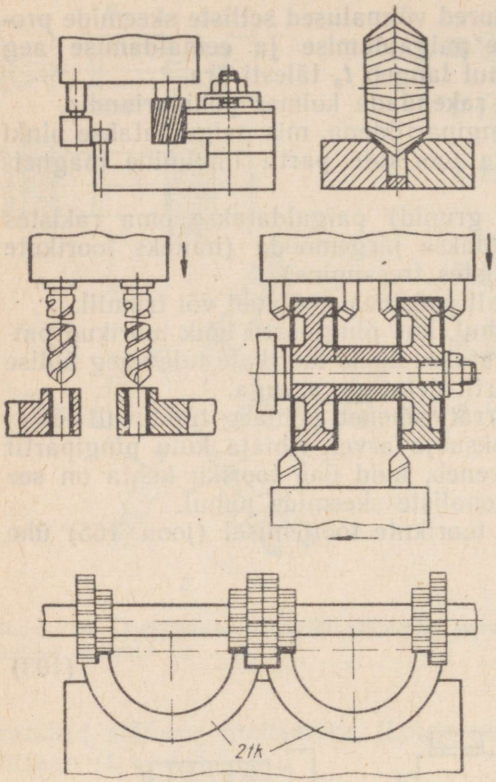
Mitmekohaliste skeemide korral väheneb põhiaeg tunduvalt lõikeriista sisselõike- ja väljajooksuaja arvel. Abiaja kulu pingipartii z_{tk} paigaldamisel veidi suureneb, kuid ühe tooriku kohta on see tunduvalt väiksem kui ühekohaliste skeemide puhul.

Mitmekohalisel järjestikusel toorikute töötlemisel (joon. 165) ühe või mitme lõikeriistaga

$$t_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{oi}}{z}. \qquad (103)$$



Joon. 165. Mitmekohalise töötlemise skeemid kogu toorikute pingipartii üheaegse paigaldamisega: *a* — ühelõikeriistalised järjestikused skeemid; *b* — mitmelõikeriistalised järjestikused skeemid



Joon. 166. Mitmekohalise paralleeltöötlemise skeemid kogu toorikute pingipartii üheaegse paigaldamisega

Mitmeriistalisel paralleeltöötlemisel (joon. 166) on võimalik põhiaja siirdeid ühitada. Operatsiooni põhiaeg määratakse sel juhul limiteeriva siirdega:

$$t_o = \frac{t_{ol}}{z}. \tag{104}$$

Pingipartii toorikute paralleel-järjestikuse paigutuse juures on võimalik põhiaja siirete osaline ühitumine.
Põhiaeg määratakse mittekattuvate siirete aegade summaga:

$$t_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{ol}}{z}. \tag{105}$$

Mitmekohaliste skeemide korral toorikute pingipartii üheaegse paigaldamisega ja ühe lõikeriistaga töötlemisel

$$t_a = \frac{t_{pg} + t_{jt}}{z}. \tag{106}$$

Paralleelsel ja paralleel-järjestikusel mitme lõikeriistaga töötlemisel

$$t_a = \frac{t_{pg} + t_{jt} + t_{lv}}{z}. \qquad (107)$$

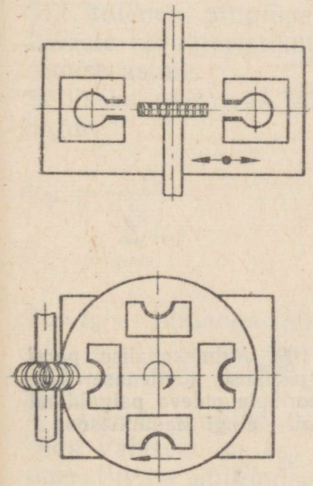
Lõikeriista vahetamise aeg asendatakse mõnel juhul indekseerimisajaga.

Mitmekohalisi, tooriku (või toorikute grupi) sõltumatu (eraldi) paigaldamisega töötlemise skeeme võib lugeda tootlikumateks, kuna need võimaldavad toorikute paigaldamise ja eemaldamise aja t_{pg} kattumist töötlemise põhiajaga.

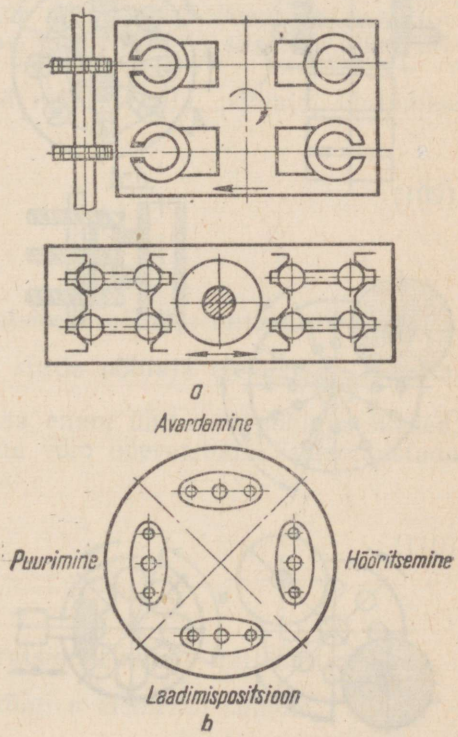
Samaaegselt ühe osa toorikute töötlemisega eemaldatakse teisi pingist ja paigaldatakse uusi toorikuid.

Järjestikusel töötlemisel (joon. 167) määratakse põhiaeg limiteeriva siirdega. Abiaeg — see on ainult pingi juhtimise ja indekseerimise aeg.

Mitmekohalisel paralleelsel ja paralleel-järjestikusel toorikute



Joon. 167. Järjestikuse töötlemise skeemid toorikute eraldi paigaldamisega

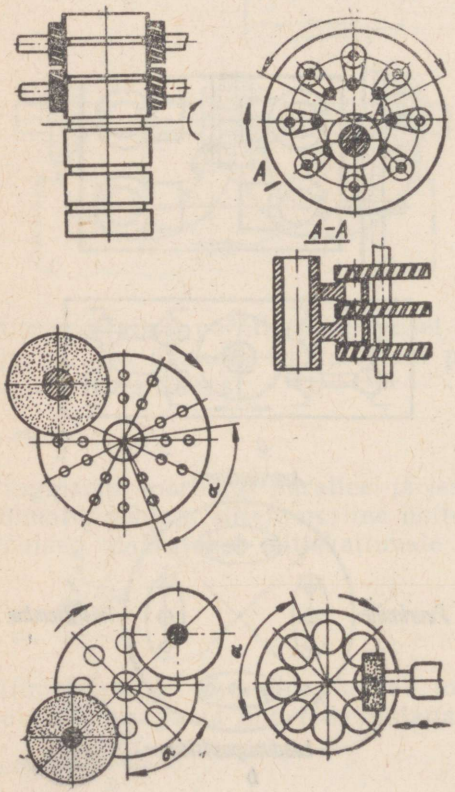


Joon. 168. Mitmekohalise töötlemise skeemid toorikute eraldi paigaldamisega: *a* — paralleeltöötlemine; *b* — järjestikune töötlemine

töötlemisel (joon. 168) väheneb põhiaeg vastavalt üheaegselt töödeldavate toorikute arvule:

$$t_o = \frac{t_{o1}}{z}. \qquad (108)$$

Abiaja osas ei erine antud skeem eelmisest.
Kõige soodsamad tingimused operatiivaja elementide ühitamiseks esinevad mitmekohaliste, toorikute pideva paigaldamisega skeemide juures (joon. 169). Siin on ülekaalus paralleel-järjestikused töötlemisskeemid, ehkki töödeldavate toorikute ja lõikeriistade (freeside, käiade) vastavate mõõtmete vahekordade juures on võimalikud ka järjestikused töötlemisskeemid.
Selliste skeemide korral rakendatakse eelistatult pidevalt pöörlevaid karussell-töölaudu või trumleid. Toorikuid eemaldatakse ja paigaldatakse pingi töö ajal selle laadimistsoonis.
Põhiaeg määratakse karussell-töölaua või trumli ühe pöörde aja



Joon. 169. Mitmekohalise paralleel-järjestikuse töötlemise skeemid toorikute pideva paigaldamisega: *a* — pingi laadimistsoon

jagamisega sellele paigaldatud toorikute arvuga; kui töötlemisvaru eemaldatakse mitme läbimiga (näiteks lihvimisel), siis suureneb põhiaeg ühele toorikule vastavalt nõutud pöörete arvule. Tükiajas arvestatav operatsiooni abiaeg kattub mitmekohalisel, toorikute pideva paigaldamisega töötlemisel täielikult lõiketöötlemise ajaga ($t_a = 0$).

Käsitletud operatsiooni põhiaja struktuurivalemid annavad pingioperatsioonide skeemide kvalitatiivse iseloomustuse, nad näitavad ära siirete ühitamise või eraldi teostamise-võimalused.

Ent ainult põhiaja struktuurivalemiga määratud skeemid erinevad tegelikkuses üksteisest tunduvalt. Näiteks freeside komplektiga tööpingi sängi viie pinna üheaegsel töötlemisel (vt. joon. 163) saadakse operatsiooni siirete viiekordne kattumine; avade puurimisel kahespindlilise puurpeaga ühitame ainult kaks siiret. Analoogiliselt võimaldab mitmespindlilises automaadis töötlemine põhiaja elementide mitmekordset kattumist, mis teeb need operatsioonid tootlikumateks võrreldes samasuguse põhiaja struktuuriga töötlemisskeemidega trummelfreespinkidel ja tasalihvpinkidel (vt. joon. 169).

Siit tuleneb pingioperatsioonide ülesehituse skeemide kvantitatiivsete karakteristikute vajadus, mis annaksid siirete ajalise ühitumise astme.

Selliseks näitajaks võib teatud määral olla põhiaja ühitumise tegur:

$$k_{üp} = \frac{t_o}{\sum_{i=1}^{n} t_{o_i}}, \tag{109}$$

kus t_o — tükiaega minev operatsiooni põhiaja mittekattuv osa;

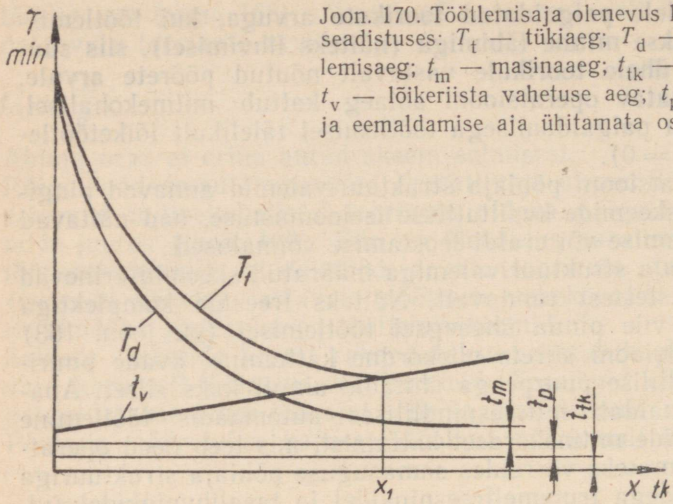
$\sum_{i=1}^{n} t_{o_i}$ — operatsiooni kõigi n siirde põhiaja elementide summa.

$k_{üp}$ suurus muutub 0 . . . 1. Mida enam ühituvad põhiaja siirded, seda väiksem on $k_{üp}$. Tervikuna võib operatsiooni iseloomustada operatiivaja ühitumise teguriga:

$$k_{üop} = \frac{t_o + t_a}{\sum_{i=1}^{n} t_{o_i} + \sum_{i=1}^{n} t_{a_i}}, \tag{110}$$

kus t_a — tükiaega kuuluv operatsiooni abiaja mittekattuv osa;

$\sum_{i=1}^{n} t_{a_i}$ — operatsiooni abiaja kõigi n elemendi summa.



Joon. 170. Töötlemisaja olenevus lõikeriistade arvust seadistuses: T_t — tükiaeg; T_d — ühe detaili töötlemisaeg; t_m — masinaaeg; t_{tk} — tühikäikude aeg; t_v — lõikeriista vahetuse aeg; t_p — paigaldamise ja eemaldamise aja ühitamata osa

Ent seadistuses rakendatavate lõikeriistade arvu suurendamisega saadav siirete ajaline ühitamine on otstarbekohane niikaua, kuni see suurendab tootlikkust; ülemäärane lõikeriistade arvu suurendamine viib sageli vahetuse jooksul töödeldavate detailide hulga vähenemisele. See on seotud lõikekiiruse vältimatu vähenemisega ja lõikeriistade reguleerimise ja järelhäälestamisega vahetuse ajal. Seepärast tuleb pingioperatsioonide projekteerimisel lahendada operatsioonide optimaalse kontsentreerimise keerukas küsimus.

Joonisel 170 on näidatud detaili tükiaja T_t ja seadistuse lõikeriistade arvu x vahelise seose iseloom. Ühe detaili töötlemisaeg T_d koosneb põhiajast (masinaajast) t_m ja abiajast, mis koosneb omakorda tühikäikude ajast t_{tk} ning detaili paigaldamise ja eemaldamise aja ühitamata osast t_p. Tükiajas esineb täiendavalt lõikeriista vahetamise ja mõõtuseadmise aeg t_v (arvestatuna ühe detaili kohta). Seoses lõikeriistade vahetamise ja mõõtuseadmise aja osatähtsuse suurenemisega langeb seadistuse lõikeriistade arvu suurenemisel tükiaja vähenemise intensiivsus. Punkt x_1 vastab maksimaalsele lõikeriistade arvule seadistuses, mis on otstarbekohane tükiaja vähendamise seisukohalt. Seadistuse lõikeriistade arvu piirab samuti põhiaja (masinaaja) ja detaili paigaldamise ja eemaldamise aja suhe. Lõikeriistade arvu suurendamine muutub ebaotstarbekaks, kui $t_m < t_p$.

Tehnoloogiliste siirete arv ja järjekord määratakse valitud tooriku liiki ja valmisdetaili täpsusnõudeid arvestades vahe- ja üldtöötlemisvarude arvutamisel.

Toorikute kuju ja gabariitmõõtmed määravad võimaliku pingipartii suuruse, toorikute paigutuse pingi töölaual või rakises, pinkide seadistuse keerukuse ja tühikäikude pikkuse mitmekohalisel töötlemisel.

Tehnoloogiliste siirete ratsionaalne ühitamine määratakse olenevalt töödeldavate pindade vastastikusest asendist ja lõikeriistade võimalikust paigutusest.

Detaili konstruktsiooni iseärasused, näiteks selle väike jäikus, võivad olla siirete paralleelsest teostamisest loobumise põhjuseks.

Kõrge täpsus- ja pinnasiledusklassi saamiseks rakendatakse erioperatsiooni. Sel juhul võib igasuguse toodangumahu juures kasutada ühekohalisi järjestikuseid, sageli ka ühesiirdelisi skeeme.

Automaatliinide tehnoloogilisi operatsioone iseloomustab siirete suur kontsentreeritus. Nende juures rakendatakse paralleelseid ja paralleel-järjestikuseid skeeme.

Abiaeg koosneb vaid tooriku nihutamise ajast järgnevasse positsiooni (t_{ind}) ning lõikeriistade lähendamise ja eemaldamise ajast (t_{jt}).

Automatiseeritud tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel nõutakse kõikide nende küsimuste hoolikat läbitöötamist, millest oleneb liini ja selle agregaatide töökindlus etteantud kvaliteedinäitajate ja toodangu mahu kindlustamisel.

Võimalike töötlemishälvete ja tootlikkust iseloomustavate suuruste analüüsi ja arvutusliku põhjendamise kõrval tuleb lahendada laadimisel-eemaldamisel ja toorikute töötlemisel vajaliku transportimise küsimused, samuti protsessi käigus praagi tekkimist vältiva automaatkontrolli küsimus.

Raskemasinaehituses tehakse suurte toorikute keerukad mitmesiirdelised operatsioonid individuaal- ja väikeseeriatootmise olukorras, suurtel (mõnikord unikaalsetel) pinkidel ilma rakisteta, tooriku rihtimisega paigaldamisel.

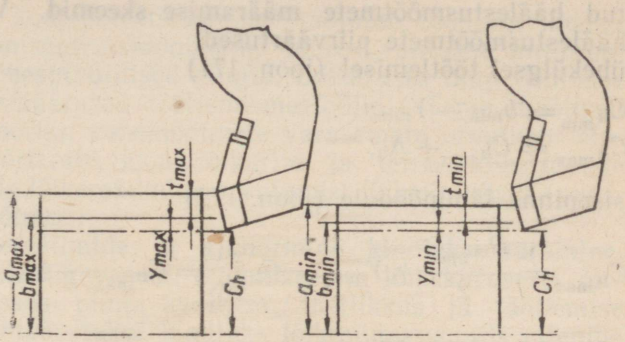
Operatsiooni abiaeg on toorikute suure kaalu ja gabariitmõõtmete, lõikeriistade mitmekordse vahetamise, proovilaastude võtmise ja mõõtmise, keeruka transportimise ja kauakestva rihtimise tõttu paigaldamisel küllalt pikk ja moodustab ka tükiajast suure osa.

Seepärast püütakse tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel vähendada operatsioonide ja paigalduste arvu ning saavutada siirete maksimaalset arvu ühel tooriku paigaldamisel. Selleks varustatakse tavalised universaalpingid täiendavate seadmetega, mis võimaldavad rakendada teisi töötlemismeetodeid.

Näiteks täiendava lihvpeaga varustatud treipingis töödeldakse võllikaelad täielikult.

Vaatamata raskemasinaehituse iseärasustele, rakendatakse seal

neidsamu mehaanilise töötlemise protsesside intensiivistamise suundi, mis on omased teistele masinaehitusharudele.
Raske tooriku mitme pinna paralleelne töötlemine toimub teisaldatavate puur-, sisetrei- ja teiste pinkidega. Peale tooriku alusplaadile paigaldamist ja rihtimist monteeritakse nende kõrvale või vahetult nende peale teisaldatavad pingid või agregaatpead; koos põhipingi spindliga moodustavad nad nagu mitmespindlilise pingi. Suured treipingid kujundatakse mitme supordiga, mis võimaldab töödelda paralleelselt mitut võllikaela.
Suuregabariidiliste detailide seeriaviisilisel valmistamisel rakendatakse raskemasinaehituses ka agregaatpinkide tüüpi eripinke.
Suurtel pinkidel väheneb töötlemise abiaeg hüdrauliliste nukkide ja iseseisva tööga kinnitusklambrite kasutamisel, nende mehaanilise paigaldus- ja tööliikumise rakendamisel.
Mitmekohaliste operatsiooniskeemide väga piiratud kasutusvõimaluste korral võib ühe tooriku paigaldamise aeg kattuda teise tooriku töötlemise põhiajaga; näiteks võib radiaalpuurpingis puurida järjestikku avasid kahte toorikusse, mis on paigaldatud spindli töötsooni.
Esitatust nähtub, et suuregabariidiliste toorikute töötlemisel rakendatavate lahenduste spetsiifika rõhutab kõrge tootlikkusega pingioperatsioonide projekteerimise suundade ühtsust.
Mitmelõikeriistalise seadistuse projekteerimisel esinevad järgmised etapid.
1. Lõikeriistade asetuse plaani koostamine siirete kaupa ja esialgne lõikerežiimide arvutamine vastavalt etteantud töötlemistaktile.
2. Seadistuskaardi koostamine lõikeriistade paigutuse ja šifri äranäitamisega, paigaldusskeemi täpsustamine, lõikerežiimide korrigeerimine, vahetusrataste, kopeeride ja teiste seadistuselementide valik, tükiaja määramine.
3. Töö- ja kontrollrakiste ning erilõikeriistade projektülesannete koostamine.
Pingioperatsioonide ja pingi mitmelõikeriistaliste seadistuste projekteerimisel arvutatakse häälestusmõõtmed, mõjuvate jõudude suurused ja oodatav töötlemistäpsus.
Pingi mitmelõikeriistalise seadistuse juures peab lõikerežiimide arvutus tagama kõikide projekteeritavast operatsioonist osavõtvate lõikeriistade kooskõlastatud töö.
Häälestusmõõde määrab lõikeriista lõikeserva sellise asendi pingi tööelementide ja rakise paigalduselementide suhtes, mis tagab töötlemisprotsessis esinevaid nähtusi arvestades taotletava mõõtme kindlaksmääratud tolerantsivälja piires.
Häälestatud pinkides töötlemisel on põhiliseks taotletavat mõõdet muutvaks teguriks lõikeriista kulumine. Sellisel juhul peab väli-

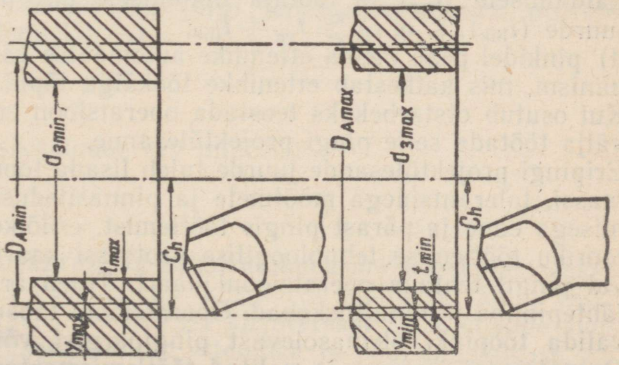


Joon. 171. Häälestusmõõtme arvutamise skeem välispindade töötlemisel: a_{max} ja a_{min} — mõõtmed enne töötlemist; b_{max} ja b_{min} — mõõtmed peale töötlemist; Y_{max} ja Y_{min} — tehnoloogilise süsteemi deformatsiooni piirväärtused

pindade töötlemisel häälestusmõõde lähenema minimaalsele ja sisepindade töötlemisel maksimaalsele piirmõõtmele; sel juhul on järelhäälestustevaheline aeg pikim ja püsivusaja vältel tehtavate järelhäälestuste arv väikseim.

Ent selline häälestusmõõtme suurus ei garanteeri praagita tööd kaliibri mitteläbiva poole järgi kontrollimisel võimaliku häälestushälbe tõttu tooriku materjalisse.

Kopeerimise tõttu saadakse peale pinna töötlemist suurimad ja väikseimad tegelikud mõõtmed vastavalt suurima ja väikseima tegeliku mõõtmega tooriku puhul. Joonistel 171 ja 172 on näida-



Joon. 172. Häälestusmõõtme arvutamise skeem avade töötlemisel: $D_{A\,max}$ ja $D_{A\,min}$ — diametraalmõõtmed peale töötlemist

tud häälestusmõõtmete määramise skeemid. Välispindadele on häälestusmõõtmete piirväärtused:
ühekülgsel töötlemisel (joon. 171)

$$C_{h\,min} = b_{min} - Y_{min};$$
$$C_{h\,max} = C_{h\,min} + \Delta_h;$$

sisepinna läbimõõdule (joon. 172)

$$C_{h\,max} = \frac{D_{A\,max}}{2} + Y_{min}; \qquad C_{h\,min} = C_{h\,max} - \Delta_h;$$

välispinna läbimõõdule

$$C_{h\,min} = \frac{D_{A\,max}}{2} - Y_{min}; \qquad C_{h\,max} = C_{h\,min} + \Delta_h;$$

Mitmesugustel häälestusmeetoditel esinevat pingi häälestushälbe Δ_h suurust on käsitletud varem (vt. II ptk.).
Operatsioonide projekteerimisel, kus nähakse ette mitme pingi teenindamine, tuleb täita järgmisi nõudeid:
a) töötlemisprotsess peab olema pidev kuni supordi või töölaua töökäigu lõpuni, vajaduse korral peab toimuma pingi automaatne ümberlülitumine;
b) mitme pingi teenindamisega pinkide grupi üksikutel pinkidel peab tükiaeg olema omavahel võrdne või väikseima tükiaja kordne;
c) supordi töökäigu kestus (t_{tk}) peab olema võrdne või suurem aegade summast, mis kulutatakse toorikute eemaldamisele ja paigaldamisele (t_{pg}) ja töötaja liikumisele ühe pingi juurest teise juurde (t_{liik}), s. o. $t_{tk} \geqslant t_{pg} + t_{liik}$;
d) pinkidel peab olema ettenihke automaatse väljalülitamise mehhanism, mis katkestab ettenihke töökäigu lõpul.
Kui osutub otstarbekaks teostada operatsioon eripingis, siis tuleb välja töötada selle pingi projektülesanne.
Eripingi projektülesande juurde tuleb lisada tooriku joonised koos massi, tolerantsidega mõõtmete ja pinnasiledusklasside äranäitamisega enne ja pärast pingis töötlemist, erilõikeriistade joonised, tooriku töötlemise tehnoloogilise protsessi kaart ja projekteeritaval pingil tehtava operatsiooni kaart. Tuleb ära näidata tooriku lähtepinnad ja kinnituskohad. Operatsiooni täpsustatud sisu lubab valida tööpinki olemasolevast pingipargist või kataloogi järgi. Operatsiooni iseloom ja valitud töötlemismeetod määravad pingi tüübi (treipink, freespink, puurpink), tooriku ning töödeldavate pindade mõõtmed aga pingi põhimõõtmed. Tehnoloogiliste siirete

kindlaksmääratud kontsentratsiooniaste mõjutab tööpingi mudeli valikut. Kõrge kontsentratsiooniastme juures valitakse mitmesupordilised või mitmespindlilised pingid. Lõikeriista tüüp valitakse vastavalt kindlaksmääratud töötlemismeetodile. Tema mõõtmed määratakse kas tooriku vahemõõtmete varasemate arvutuste alusel (süvistite, hõõritsate, kammlõikurite ja teiste lõikeriistade mõõtmed) või peale lõikerežiimide arvutamist lõikejõu järgi (puurvõllide terade mõõtmed).

Operatsiooni lõikerežiimide ja ajanormide kindlaksmääramine. Lõikerežiimist (lõikesügavusest, ettenihkest ja lõikekiirusest) oleneb töötlemise täpsus, pinna kvaliteet, tootlikkus ja töötlemise omahind. Esiteks määratakse kindlaks lõikesügavus, siis ettenihe ja lõpuks lõikekiirus. Ühe läbimiga töötlemisel võetakse lõikesügavus võrdseks vahetöötlemisvaruga, mitme läbimiga töötlemisel võetakse maksimaalselt lubatav lõikesügavus, kusjuures püütakse vähendada läbimite arvu; viimastel läbimitel vähendatakse sageli lõikesügavust (näiteks lihvimisel) vastavalt etteantud täpsusele ja pinnakaredusele. Siis määratakse olemasolevate normatiivide järgi maksimaalselt lubatav ettenihe. Koorivtöötlemisel piirab ettenihet tehnoloogilise süsteemi tugevus ja jäikus ning pingi võimsus. Puhas- ja viimistlustöötlemisel määratakse maksimaalselt lubatav tehnoloogiline ettenihe etteantud pinnasiledusklassi järgi. Pinnasiledusklasside ja töötlemistäpsuse sõltuvusi lõikerežiimist käsitleti II peatükis. Määratud ettenihe kooskõlastatakse pingi passis toodud ettenihete väärtustega, kusjuures valitakse lähim väiksem ettenihe.

Viimasena määratakse lõikekiirus, tavaliselt lõikeriista ökonoomse püsivusaja järgi. Lõikekiirus arvutatakse lõiketeooria valemite järgi või valitakse normatiivmaterjalide tabeleist.

Kindlaksmääratud lõikekiiruse järgi leitakse arvutuslik pöörete arv minutis (pöörlemiskiirus):

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

või arvutuslik kaksikkäikude arv minutis:

$$n = \frac{1000v}{2L}$$

Arvutuslik pöörlemiskiirus või kaksikkäikude arv kooskõlastatakse pingi passis toodud väärtustega, kusjuures valitakse lähim väiksem. Operatsioonikaardi lahtritesse kirjutatakse sisse kõikide suuruste valitud väärtused. Valitud ettenihke ja pöörlemiskiiruse või kaksikkäikude arvu järgi arvutatakse igale siirdele eraldi masinaaeg, kusjuures eelnevalt määratakse tooriku või lõikeriista arvutusliku nihketeekonna pikkus.

Mitmelõikeriistalisel töötlemisel ei ole tavaliselt võimalik anda igale lõikeriistale oma, teistest erinevat ettenihet ja lõikekiirust. Ettenihe võetakse ühesugune kõikidele ühte plokki (supordisse, spindlipeasse) kuuluvatele lõikeriistadele. Spindli pöörlemiskiirus võetakse üheaegselt töötlevate lõikeriistade grupile ühine, näiteks mitmetera-poolautomaattreipingi kõikidele esi- ja tagasupordi lõiketeradele.

Lõikesügavus ja ettenihe määratakse igale lõikeriistale samadel kaalutlustel nagu ühelõikeriistalisel töötlemisel.

Antud lõikeriistade ploki kõikidest ettenihetest võetakse limiteeriv (väikseim).

Lõikeriistade mitme ploki puhul valitakse üldine limiteeriv ettenihe. See on lõikeriistade kõikide plokkide väikseim ettenihe. Selle ettenihke järgi arvutatakse põhiaeg. Limiteeriva ploki ettenihe kooskõlastatakse pingi passiga, kust valitakse lähim väiksem. Arvutuse hõlbustamiseks antakse põhiaja valemile järgmine kuju:

$$t_o = \frac{L_a}{s_m} = \frac{L_a}{n_{sp} s_p} = \frac{\frac{L_a}{s_p}}{n_{sp}} = \frac{n_p}{n_{sp}} \text{ min}, \qquad (111)$$

kus n_{sp} — spindli pöörlemiskiirus (pöörete arv minutis), arvutatud valitud lõikekiiruse järgi;

n_p — spindli pöörlemishulk (pöörete arv) lõikeriistade ploki töökäigu kestel;

L_a — lõikeriistade ploki käigu arvutuslik pikkus;

s_p — ploki limiteeriv ettenihe spindli ühele pöördele (tööpinga ühele kaksikkäigule või freesi ühele pöördele);

s_m — ploki minutiline ettenihe.

Igale üheaegselt töötavale plokile määratakse ettenihke s_p järgi pingi spindli pöörlemishulk ploki töökäigu kestel n_p:

$$n_p = \frac{L_a}{s_p}. \qquad (112)$$

Kõikidest saadud n_p väärtustest valitakse limiteeriv suurim pöörlemishulk. Limiteeriva suuruse leidmise järel on kasulik ühtlustada ettenihke vähendamise arvel ülejäänud samaaegselt töötlevate lõikeriistade plokkide pöörlemishulgad, halvendamata lõiketingimusi.

Sellel arvutusetapil on otstarbekohane kontrollida pingi ettenihkemehhanismi tugevust.

Igale seadistusele määratava lõikekiiruse juures lähtutakse ühe-

aegselt töötavate lõikeriistade arvust, püsivusajast ja iga üksiku lõikeriista suhtelisest koormusest, kulumise ebavõrdsusest, nürinenud lõikeriistade teritamise ja vahetamise kulutustest.

Nende arvutuste põhimõtteline suund määratakse järgmiste kaalutlustega. Üheaegselt töötlevate lõikeriistadega seadistustele ei tohi rakendada neidsamu püsivusaegu mis ühelõikeriistalisel töötlemisel. Seadistuses esinevate paljude lõikeriistade puhul muutuvad nürinenud lõikeriistade vahetamise seisakud sagedamaks kui ühelõikeriistalisel töötlemisel, aga nürinenud lõikeriistade vahetamisega seotud kulutused suurenevad. Et nende kulutuste osatähtsus jääks samaks kui ühelõikeriistalisel töötlemisel, on vaja suurendada seadistuse püsivusaega ja järelikult vähendada lõikekiirust. Mida rohkem on seadistuses lõikeriistu, seda suuremad on nürinenud lõikeriistade vahetamisega seotud kulutused ja seda suurem peab olema püsivusaeg, millest lähtudes määratakse lõikekiirus kogu seadistusele tervikuna.

Mitmelõikeriistalise töötlemise optimaalse püsivusaja tingimused ja lõikekiiruse arvutamise metoodika on antud tehnikakandidaat G. I. Temtšini töödes.

Mitmelõikeriistalistele seadistustele võib lõikekiirust arvutada ka lihtsama metoodika järgi, mis on välja töötatud Tehniliste Normatiivide Teadusliku Uurimise Büroo (НИБТН) ja Autotööstuse Tehnoloogia Teadusliku Uurimise Instituudi (НИИТавтопром) poolt.

Arvutatakse seadistuse limiteeriva lõikeriista järgi, mis töötab ühelõikeriistalise töötlemise tingimustes väikseima lõikekiirusega.

Kasutatavate seadistuste analüüs näitas, et limiteeriva lõikeriista tinglik-majanduslikku püsivusaega võib praktiliselt küllaldase täpsusega määrata masinaaja minutites valemist

$$T_m = k \sum T_{m_i}, \qquad (113)$$

kus T_{m_i} — iga lõikeriista tinglik-majanduslik püsivusaeg ühelõikeriistalise töötlemise tingimustes;

k — mitmelõikeriistalisuse tegur, mis arvestab töötlemisviisi, lõikeriistade arvu seadistuses, nende koormuse ebaühtlust ja nürinenud lõikeriistade vahetamisega seotud kulutuste erinevust.

Selgitatakse välja antud seadistuse limiteeriv lõikeriist, millele määratakse ülaltoodud valemi järgi tinglik-majanduslik püsivusaeg T_m masinaaja minutites.

T_{m_i} ja k väärtused on toodud tabelites 13 ja 14.

Tabel 13

Lõikeriistade tinglik-majanduslikud püsivusajad *T*

Lõikeriista nimetus	Lõikeriista materjal	Püsivusaeg minutites toorikute töötlemisel		Töötlemise tolerants mm
		terasest	malmist	
Piki- ja otsaterad	Teras P9 ja kõvasulamid	45...60 30	75 60	$<0{,}2$ $>0{,}2$
Kujuterad	Teras P9 ja kõvasulamid	30	30	—
Puurid läbimõõduga mm	Teras P9			
10		20	45	—
15		30		
20		40		
30		50		
Avardid läbimõõduga 25...40 mm	—	30	45	—

Freesid		Freesi läbimõõt mm								
		25	50	75	100	150	200	300	400	500
		Püsivusaeg minutites								
laup- ja ketas-	Kiirlõike-teras	—	100	120	130	170	250	300	400	500
läbilõike-		—	80	90	100	110	120	—	—	—
sõrm-		60	80	—	—	—	—	—	—	—
silinder-		—	100	170	280	400	—	—	—	—
raadius-		—	60	80	100	—	—	—	—	—
kahenurksed		—	100	150	170	—	—	—	—	—
segmentkiilu pesade		—	60	—	—	—	—	—	—	—
laup- ja kahekülgsed ketas-	Kõvasulamid	—	—	90	120	200	300	500	600	800
kolmekülgsed ketas-		—	—	130	160	200	300	—	—	—

Tabel 14

Mitmelõikeriistalisuse tegur *k*

Seadistuse lõikeriistade arv	1	2	3	4	5	6...8	9...12	>12
Mitmelõikeriistalisuse teguri *k* väärtused	1	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4

Seejärel määratakse limiteeriva lõikeriista tinglik-majanduslik püsivusaeg lõikeaja minutites:

$$T'_m = T_m\lambda = T_m\frac{L_l}{L_a}, \qquad (114)$$

kus λ — lõikeaja tegur;
L_l — lõikeajale vastav lõikeriista nihke pikkus;
L_a — masinaajale vastav arvutuslik pikkus.

Ühelõikeriistalise töötlemise normatiivide järgi määratakse seadistuse limiteeriva lõikeriista püsivusajale T'_m vastav lõikekiirus. Selle alusel arvutatakse pöörete arv minutis n_{sp}, mis kooskõlastatakse pingi passiga. n_{sp} järgi arvutatakse põhiaeg.

Siirdega seotud abiaeg määratakse normatiivide järgi. Siirdega mitteseotud abiaeg, mis on vajalik paigalduste ja asetuste tegemiseks, määratakse samade normatiivide järgi.

Antud mitmelõikeriistalise operatsiooni operatiivaja saamiseks liidetakse kõik põhi- ja abiajad. Tükiaja ülejäänud koostisosade suurused määratakse normatiividest eespool vaadeldud metoodika järgi (vt. I ptk.). Ajanormi kindlaksmääramisel arvestatakse üksikute tükiaja koostisosade kattumisvõimalusi.

Tehnoloogiline dokumentatsioon. Olenevalt tootmise seerialisusest ja detaili keerukusest fikseeritakse tehnoloogiline protsess vastavates dokumentides suurema või väiksema üksikasjalisusega. Mass- ja seeriatootmises koostatakse tehnoloogilised marsruudi- ja operatsioonikaardid. Mittekeerukale detailile täidetakse seeriatootmises marsruudikaart. Vajaduse korral näidatakse nendes operatsiooni sisu täpsemalt kui tavaliselt. Individuaaltootmises vormistatakse marsruudikaart. Tehnoloogiliste kaartide vormid võetakse PTM 94-63 — PTM 103-63 järgi. Keerukate ja vastutusrikaste operatsioonide sisu näidatakse täpsemalt kui tavaliselt ja mõnikord lisatakse töötlemiseskiisid (vt. lisa 2).

Tehnoloogiline kaart on dokument, töötlemine peab toimuma sellega täielikus vastavuses. Tehnoloogiliste kaartide kirjed peavad selgelt väljendama ettekirjutatud operatsioonide sisu ja nende sooritamise tingimusi.

Tehnilis-majanduslikud näitarvud. Iga detaili valmistamise tehnoloogilist protsessi võib projekteerida mitmes variandis, mis kõik rahuldavad etteantud tehnilisi tingimusi. Kõige majanduslikuma variandi väljavalimiseks kõrvutatakse võrreldavaid variante iseloomustavaid tehnilis-majanduslikke näitarve. Variantide täielik hinnang saadakse toodangu omahinna võrdlemisel, kuna omahinnas peegeldub elava ja asjastatud töö kulu.

Tehakse vahet ainult tsehhikulusid arvestava tsehhi omahinna ja tehase üldkulusid arvestava tehase omahinna vahel. Tehnoloogi-

liste protsesside variantide võrdlemiseks võib kasutada tsehhi omahinda.

Omahinna määramiseks on mitu meetodit.

Raamatupidamismeetodil määratakse detaili omahind S järgmise valemiga:

$$S = M + L + Z, \tag{115}$$

kus M — detaili materjali maksumus, millest on maha arvestatud tagastatavad jäätmed;
L — tootmistööliste põhipalk;
Z — kõikide ülejäänud tsehhikulude summa. Neid kulutusi väljendatakse protsentides tootmistööliste põhipalgast L. Siis

$$S = M + L + L\frac{z}{100} = M + L\left(1 + \frac{z}{100}\right), \tag{116}$$

kus z — ülejäänud tsehhikulude protsent tootmistööliste põhipalgast. See oleneb tootmise tüübist ja automatiseerimise astmest ning kõigub 150 ... 800% ja enam.

See meetod on lihtne, kuid kõlbmatu variantide võrdlemiseks, kuna ta ei väljenda erinevusi seadmete ja tarvikute ekspluatatsiooni- ja amortisatsioonikuludes olenevalt nende keerukusest.

Kõige täpsem on omahinna kõikide koostisosade otsese arvutamise meetod. Sealjuures võib mitte arvestada neid kulutusi, mis ei olene tehnoloogilisest protsessist ja jäävad kõrvutatavate variantide juures muutumatuks (kulutused tsehhitööliste palgaks, sisetranspordiks, hoonete, ehitiste ja inventari jooksvaks remondiks ja amortisatsiooniks jt.), s. o. *määrata tehnoloogiline omahind.*

Sel juhul määratakse omahind valemiga

$$S = M + L + L_s + R + E + C + A + W + V, \tag{117}$$

kus M — detaili materjali maksumus;
L — tootmistööliste palk koos juurdearvutusega;
L_s — seadistajate palk koos juurdearvutusega;
R — kulutused seadmete remondiks;
E — kulutused seadmete poolt tarbitud energiale;
C — kulutused määrdeainetele, jahutusvedelikele, puhastusmaterjalidele;
A — kulutused seadmete amortisatsiooniks;
W — kulutused lõikeriistade ekspluateerimiseks ja amortisatsiooniks;
V — kulutused erirakiste ekspluateerimiseks ja amortisatsiooniks.

Materjali maksumus

$$M = Ga - G'a', \tag{118}$$

kus G — materjali kulunorm toorikule kg;
a — tooriku 1 kg materjali varumishind (võetakse hinnakirjade järgi pluss 10% transpordile ja hoidmisele või tehase andmetel);
G' — realiseeritavate materjalijäätmete mass ühe detaili kohta kg;
a' — 1 kg jäätmete maksumus. Orienteerivalt võib võtta jäätmete maksumuse terasele 5 rbl., malmile 6 rbl., pronksile 10 rbl. tonni kohta.

Tootmistööliste palk koos juurdearvutusega kõikide töötlemisoperatsioonide kohta

$$L = 1{,}14 \sum l t_t, \tag{119}$$

kus 1,14 — tegur, mis arvestab kulutusi sotsiaalkindlustuseks (~7,7%) ja lisatasuks (~6%) tootmistööliste põhipalga summale;
l — pingiltöötaja minutipalk (võetakse kehtiva tariifivõrgu järgi);
t_t — operatsiooni tükiaja norm min.

Seadistajate töötasu seeriatootmises kõikidele antud detaili töötlemisoperatsioonidele

$$L_s = \frac{1{,}14 \sum l_s T_s n}{60N}, \tag{120}$$

kus 1,14 — tegur, mis arvestab kulutusi sotsiaalkindlustuseks ja lisatasuks;
l_s — seadistaja tunnipalk (võetakse tariifivõrgu järgi).
T_s — seadistuse kestus min;
n — partiide arv aastas;
N — aastaprogramm tk.

Vooluviisilises masstootmises määratakse seadistajate palk liini faktiliselt teenindavate seadistajate arvu järgi.

Ühe detaili kohta tulevad kulutused seadmete remondiks

$$R = \sum \frac{G_r r_r}{60 T_{rv}} t_t, \tag{121}$$

kus G_r — kulutused igat liiki remonditöödeks ühe remontidevahelise tsükli kohta ühele remondiühikule;
r_r — remondi keerukuse kategooria, mida väljendatakse antud pingi remondiühikute arvuga. Remondiühik on tinglik suurus, mis arvestab remondi keerukuse astet;

T_{rv} — ühe remontidevahelise tsükli kestus pingitundides. Nende suuruste väärtused määratakse plaanilis-ennetava remondi normatiivide järgi.

Kulutused elektrienergiale

$$E = \sum \frac{N_{inst} \alpha \beta S_e}{60} t_o, \tag{122}$$

kus N_{inst} — pingi kõikide elektrimootorite summaarne nimivõimsus kW;

α ja β — tegurid, mis arvestavad nimivõimsuse kasutamist ajaliselt ja suuruseliselt. Korrutis $\alpha\beta$ võetakse 0,5 ... 0,9;

S_e — 1 kWh elektrienergia maksumus;

t_o — operatsiooni põhiaeg.

Kulutused määrdeainetele, jahutusvedelikele ja puhastusmaterjalidele

$$C = \sum \frac{D}{F_a \cdot 60} t_t, \tag{123}$$

kus D — nende materjalide maksumus rbl. ühe pingi kohta aastas (võetakse hinnakirjade või käsiraamatute järgi);

F_a — seadmete tegelik aastane ajafond tundides.

Viimaseid kulutusi võib nende väiksuse tõttu mitte arvestada.

Kulutused universaalpinkide amortisatsiooniks

$$A_u = \sum \frac{a t_t}{F_a 60 \eta_k}, \tag{124}$$

kus a — aastane amortisatsioonieraldiste summa rbl. Võetakse 10% pingi hinnast. Pingi hinnale arvestatakse juurde 15% tema nimihinnast seoses transportimisega, vundamendi ehitamisega ja kohalemonteerimisega. Siis $a = 0{,}1 \cdot 1{,}15\ S_p = 0{,}115\ S_p$, kus S_p — pingi nimihind. Võetakse hinnakirjade või tehase andmete järgi.

η_k — pingi ajaline koormustegur, võrdub arvutusliku pinkide arvu ja valitud pinkide arvu suhtega:

$$\eta_k = \frac{k_{arv}}{k_{val}}. \tag{125}$$

Eripinkide ja eriseadmete amortisatsiooniks minevate kulutuste

määramisel arvestatakse, et nende maksumus tuleb üle kanda nende abil toodetud detailide kogusele. Sel juhul

$$A_e = \frac{1{,}15 \sum S_p}{n_p N}, \tag{126}$$

kus S_p — eripingi nimihind (võetakse tehase andmetel või ligikaudsete näitajate järgi):
n_p — pingi töötamisaastate arv.

Kui pingi töötamisaastate arv pole teada, võib võtta n_p kuni 5, arvestades, et selle aja möödudes võetakse väljalastav toode tootmisest maha. Kulutused lõikeriistade ekspluateerimiseks ja amortisatsiooniks olenevad nende täielikust või osalisest ärakasutamisest antud toote väljalaskeperioodil. Täielikul ärakasutamisel määratakse kulutused lõikeriistade ekspluateerimiseks ja amortisatsiooniks valemiga

$$W = \sum \frac{S_a + kS_{ter}}{T(k+1)} t_o, \tag{127}$$

kus S_a — lõikeriista alghind (võetakse hinnakirjade järgi või tehase andmetel);
k — terituste arv lõikeriista täieliku ärakulutamiseni (võetakse käsiraamatute järgi);
S_{ter} — ühe terituse maksumus (võetakse käsiraamatute järgi);
T — lõikeriista püsivusaeg kahe terituse vahel min.

Lõikeriista osalisel ärakasutamisel

$$W = \frac{S_a}{N} + \frac{k' S_{ter}}{T(k'+1)} t_o, \tag{128}$$

kus N — antud lõikeriistaga töödeldavate detailide arv;
k' — terituste arv antud lõikeriista kasutamise ajal.

Kulutusi universaalrakiste ekspluateerimiseks ja amortisatsiooniks ühe operatsiooni kohta võib nende väiksuse tõttu mitte arvestada.

Kulutused erirakiste ekspluateerimiseks ja amortisatsiooniks

$$V = \sum \frac{S_r + r_k n_k + r_e n_e + r_j n_j}{60 T F_r} t_t, \tag{129}$$

kus S_r — rakise alghind (võetakse tehase või käsiraamatute andmetel või arvutatakse ligikaudsete näitajate alusel);

r_k, r_e, r_j — kulutused ühele kapitaal-, keskmisele ja jooksvale remondile (võetakse normatiivide järgi);
n_k, n_e, n_j — rakise kapitaal-, keskmiste ja jooksvate remontide arv kogu kasutamisea vältel (võetakse normatiivide järgi);
T — rakise kasutamisiga aastates;
F_r — rakise aastane ajafond tundides.

Arvutuste lihtsustamiseks võib võtta erirakiste amortisatsiooniajaks kaks aastat ja rakise remondikulud aasta kohta 10 ... 20% nende hinnast. Sel juhul võib kulutused erirakiste amortisatsiooniks ja ekspluateerimiseks määrata lihtsustatud valemiga

$$P = \Sigma \frac{0{,}5S_r + 0{,}15S_r}{N_a} = \Sigma \frac{0{,}65S_r}{N_a}, \qquad (130)$$

kus N_a — väljalastavate detailide aastaprogramm.

Omahinna otsese arvutamise meetod on töömahukas. Sageli võib piirduda nende kulutuste arvestamisega, mis avaldavad omahinnale suurimat mõju.

Omahinna arvutamise normatiivne meetod vähendab tunduvalt arvutuste töömahtu. Selle meetodi juures kasutatakse varem väljatöötatud tabeleid, milles on antud kõikide eespool loetletud omahinnaelementide kulutuste suurused, arvestatud pingi ühele tööminutile. Omahinna arvutus taandub nendest tabelist iga kulutuseliigi järgi vastavate suuruste valikule (arvestatud 1 pingiminutile), nende summeerimisele ja saadud summa korrutamisele pingi tegeliku tööajaga t_{teg}. Selle määramisel arvestatakse normitäitmise astet

$$t_{teg} = \frac{t_t}{\eta} 100, \qquad (131)$$

kus η — normitäitmise protsent.

Selle meetodi juures kasutatavaid tabeleid tuleb perioodiliselt korrigeerida.

Kõige majanduslikuma variandi valikul võib ainult omahinna arvestamine osutuda mitteküllaldaseks. Nii on see siis, kui ühe variandi juures kasutatakse spetsialiseeritud või eriseadmeid ja -tarvikuid. Need on kallimad, kuid ka tootlikumad ja kindlustavad detaili valmistamise väiksemate kulutustega kui teise variandi juures kasutatavad seadmed. Sel juhul kujuneb võrdlus alati suuremate kapitaalmahutustega variandi kasuks. See variant osutub vaid siis majanduslikult kasulikuks, kui võrreldavate variantide kapitaalmahutuste vahena esinevad täiendavad kapitaalmahutused tagastuvad rahvamajandusse teatud aja jooksul. Seetõttu tuleb variantide võrdlemisel omahinna järgi määrata täiendavate kapi-

taalmahutuste tasuvusaeg T_{tas}, mis arvutatakse järgmise valemiga:

$$T_{tas} = \frac{k_2 - k_1}{c_1 - c_2}, \tag{132}$$

kus k_1 — esimese variandi kapitaalmahutused;
k_2 — teise variandi kapitaalmahutused;
c_1 — aastase väljalaske omahind esimese variandi järgi;
c_2 — aastase väljalaske omahind teise variandi järgi.

Selles valemis kujutab vahe $k_2 - k_1$ täiendavaid kapitaalmahutusi teise variandi rakendamiseks ja vahe $c_1 - c_2$ teise variandi kasutamisel kujunevat aastaökonoomiat. Masinaehituses on kehtestatud tasuvusaeg 3 kuni 5 aastat.

Osalist hinnangut tehnoloogilise protsessi variantide kohta võib saada nende võrdlemisel mehaanilise töötlemise töömahtude järgi, põhiaja tegurite ja materjali kasutamise tegurite alusel.

Protsessi töömaht on antud protsessi kõikide operatsioonide töömahtude summa. Kui protsessi igal operatsioonil töötab üks tööline, siis

$$T = \sum t_t. \tag{133}$$

Seadmete ümberseadistamise korral tuleb variante kõrvutada mitte ainult töömahtude järgi, vaid ka ümberseadistamiste ajalise kestuse järgi. n_0 toorikust koosneva partii töötlemisel tehnoloogilise protsessi esimese variandi järgi on üldine ajakulu partiile

$$T_{p_1} = T_{t_1} n_0 + T_{el_1}.$$

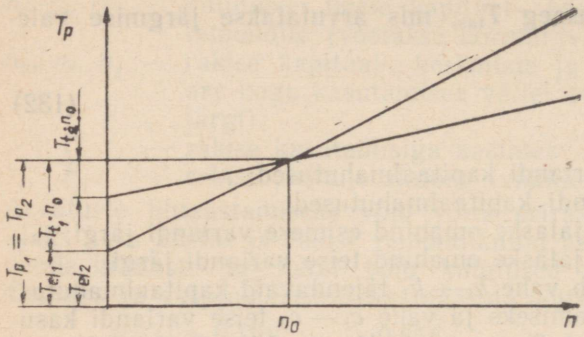
Niisama suure partii töötlemisel teise variandi järgi on üldine ajakulu partiile

$$T_{p_2} = T_{t_2} n_0 + T_{el_2}.$$

Võrdsustades T_{p_1} ja T_{p_2}, võib määrata selliste detailide arvuga partii suuruse, kus mõlemad variandid osutuvad ajakulu suhtes samaväärseks:

$$n_0 = \frac{T_{el_2} - T_{el_1}}{T_{t_1} - T_{t_2}}. \tag{134}$$

Joonisel 173 on abstsissteljel kujutatud detailide arv partiis n, ordinaatteljel — partii töötlemiseks kulutatav aeg T_p. Partii suuruse n_0 juures on mõlemad variandid samaväärsed. Partii suuruse juures alla n_0 eelistatakse esimest varianti, partii suuruse juures üle n_0 aga teist varianti.



Joon. 173. Partii suuruse arvutamise skeem

Vooltootmisel võrdub protsessi töömaht takti t ja üksikute töötajate poolt teenindatavate positsioonide arvu n korrutisega:
$T = tn$.
Variante võib kõrvutada ka pinkide kasutusastme järgi. Viimast võib määrata eraldi operatsioonile ja detailile. Pinkide ajalist koormust iseloomustab koormustegur η_k. Seda tegurit võib määrata ühe pingi ja pinkide grupi kohta, millel toimub ühe või mitme detaili töötlemise tehnoloogiline protsess. Viimasel juhul on ta üksikute pinkide koormustegurite aritmeetiline keskmine.
Kasutades tükiaja normi määramise arvutusi, võib leida elementidevahelise suhte, määrates põhiaja teguri η_0 põhiaja t_0 suhtena tükiaega t_t:

$$\eta_0 = \frac{t_0}{t_t}. \qquad (135)$$

See tegur iseloomustab põhiaja osatähtsust operatsiooni üldaja suhtes. Seda võib määrata ka protsessi kui terviku kohta. Suur põhiaja tegur näitab operatsiooni ratsionaalset ülesehitust. Väike põhiaja tegur näitab tunduvat ajakulu abivõtetele (detaili paigaldamine ja eemaldamine jms.), lõikeriista järelhäälestusele ja vahetamisele. Põhiaja teguri suurus kõigub laiades piirides, alates 0,35 ... 0,45 kammlõikepinkides töötlemisel kuni 0,85 ... 0,90 pidevfreesimisel karussell- ja trummelfreespinkides.
Materjali kasutamise tegur määratakse valmisdetaili kaalu ja tooriku kaalu suhtena:

$$\gamma = \frac{g}{G}.$$

See tegur iseloomustab detaili tootmisprotsessi tervikuna, kaasa arvatud ka tooriku valmistamise protsess. Seda võib määrata ettevalmistustsehhist mehaanilisele töötlemisele tulnud tooriku kaalu suhtes ja ka tooriku valmistamiseks vajaliku materjali kaalu suhtes. Allpool tuuakse mõned praktilised andmed materjali kasutamise teguri kohta. Malmvalu korral metallmudelite järgi masinvormimisega saadud muldvormidesse: korpusdetailidele $\gamma = 0{,}8 \ldots 0{,}9$; puksidele ja hülssidele $\gamma = 0{,}5 \ldots 0{,}6$; väikestele rihmaseibidele ja hooratastele $\gamma = 0{,}7 \ldots 0{,}9$. Terastoorikute stantsimisel vasaratega: kangidele ja kahvlitele $\gamma = 0{,}8 \ldots 0{,}95$; astmelistele ja äärikvõllidele $\gamma = 0{,}7 \ldots 0{,}85$; hammasratastele $\gamma = 0{,}35 \ldots 0{,}55$.

Grupitöötlemise tehnoloogiliste protsesside projekteerimine. Vooluviisilisel masstootmisel on varem märgitud (vt. II ptk., § 4) suured tehnilis-majanduslikud eelised mittevooluviisilise seeriatootmise ees.

Tehnoloogilise protsessi vastava ülesehituse juures, tehnoloogiliste tarvikute õnnestunud konstruktsioonide korral ja vajalike organisatsiooniliste abinõude rakendamisel võib ka seeriatootmises kasutada vooluviisilise masstootmise põhimõtteid.

Suurseeriatootmises projekteeritakse sageli kõige töömahukamatele detailidele vooluviisilisele masstootmisele omased ühedetaililised vooluliinid; selliste liinide tehnoloogiliste protsesside eriliseks iseärasuseks on nende jaotatus suhteliselt väikesearvulisteks paljusiirdelisteks operatsioonideks, mis tagavad seadmete küllaldase koormuse.

Kui tootmismahu järgi nõutakse pinkidele mitme operatsiooni kinnistamist, siis projekteeritakse grupivooluliinid.

Grupivooluliinidel on seadmed paigutatud liinile kinnistatud mitme lähedase kuju ja mõõtmetega tooriku töötlemise tehnoloogilise marsruudi järgi. Kõiki liinile kinnistatud toorikuid töödeldakse perioodiliselt läbilastavate partiidena ja igal antud momendil töötab liin kui pidevvooluliin. Üleminek ühe detaili töötlemiselt teisele on mõnikord võimalik liini ümberseadistamiseta, teistel juhtudel seadistatakse osaliselt ümber.

Enne tehnoloogiliste protsesside projekteerimist grupivooluliinidele klassifitseeritakse kõik valmistatavad detailid tehnoloogiliste tunnuste järgi: 1) põhilistel operatsioonidel kasutatavate seadmete tüübi ja mõõtmete järgi; 2) tooriku paigaldamise meetodi ja vajaliku rakisetüübi järgi; 3) töödeldavate toorikute nõutava täpsuse ja pinnakvaliteedi järgi.

Soodsatel tingimustel võivad grupivooluliinid töötada ilma ümberseadistuseta. Seadmed komplekteeritakse ja paigutatakse antud grupis esinevate kõige keerukamate ja töömahukamate toorikute tehnoloogilise marsruudi järgi, teisi selle grupi toorikuid

võib töödelda mõningaid pinke kasutamata. Grupivooluliinide seadmete ümberseadistamise vajadus ei ole vooltootmise juurutamisel seeriatootmisse ületamatuks takistuseks. Isegi masstootmisega võrreldes väiksema seadmete ajalise koormusteguri korral grupivooluliinidel tagatakse neil kõrgem tootlikkus ja majanduslikkus kui mittevooluviisilises seeriatootmises.

Grupivooluliine, mis töötavad seadmete ja tehnoloogilise rakistuse ümberseadistusega teise tooriku töötlemisele üleminekul nimetatakse vahelduv-vooluliinideks.

Grupivooluliinid, sealhulgas ka ümberseadistatavad, võivad olla automaatliinid. Grupivooluliinide juurutamiseks on vajalik, et nendele kinnistatud toorikute töötlemisel saadav ajaline ökonoomia oleks suurem kui ajakulud nende detailide valmistamisel vajalikele ümberseadistustele.

Liini ümberseadistamiseks vajalik aeg, näiteks üks kuu, määratakse ühest küljest ümberseadistamise konstruktiivsete ja tehnoloogiliste tingimuste järgi, teisest küljest aga ümberseadistuste arvu järgi samal ajavahemikul, mille määrab toorikute töösselaskmise partii suurus ja töösselaskmise kindlaksmääratud perioodilisus.

Kui rühma detailide valmistamisel võib üksikud operatsioonid sooritada ühtedel ja samadel pinkidel ühetüübiliste seadistuste juures, teised operatsioonid nõuavad aga erinevaid pinke ja neid ei saa teha grupi-tehnoloogilise protsessi järgi, on ühistel operatsioonidel otstarbekas kasutada grupiseadistusi. Sel juhul tuleb gruppi koondada niisugused toorikud, millele vastaval pingil grupiseadistusega tehtav operatsioon osutub töömahult põhiliseks.

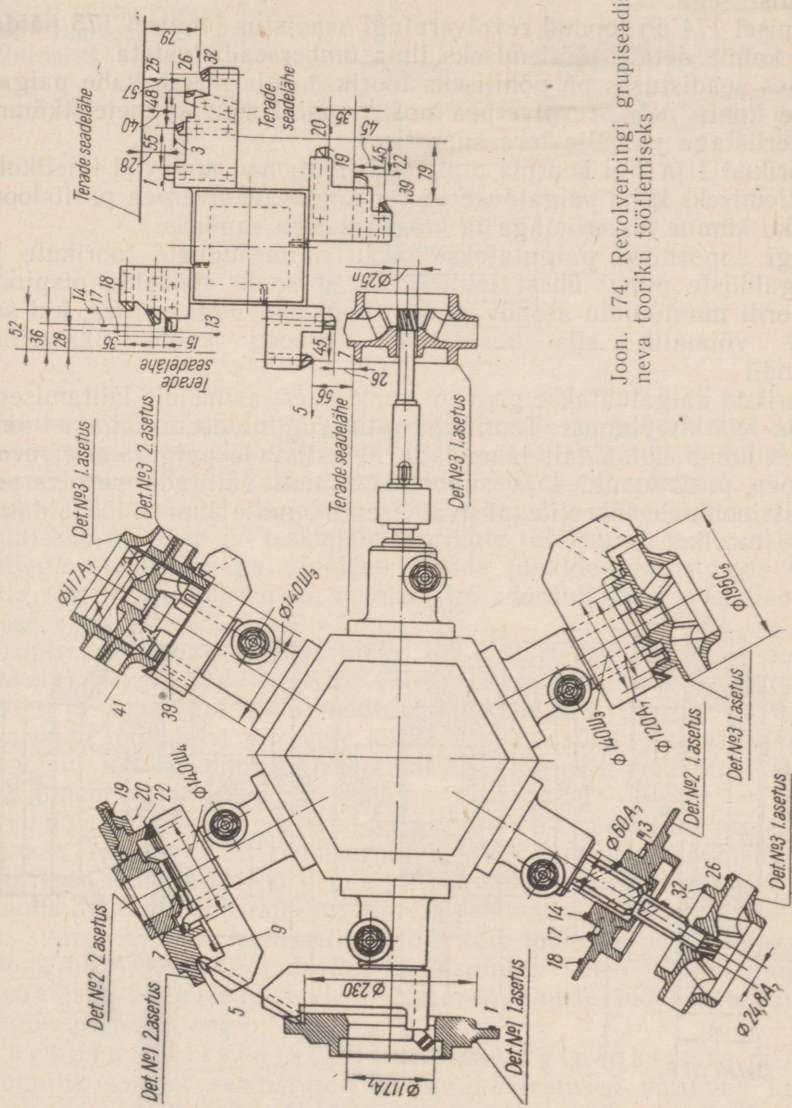
Tehnoloogiliste protsesside grupivooluliinidele projekteerimise küsimusi võib vaadelda ainult nende konkreetsel rakendamisel etteantud tooteile. Nii eraldi kui ka grupivooluliinidel rakendatavate grupiseadistuste projekteerimise üldisi kaalutlusi võib käsitleda üksikute pingitüüpide järgi.

Väga efektiivsed on revolvertreipinkide grupiseadistused. Toorikute tsangi või padrunisse paigaldamine võimaldab töödelda mitte ainult nende välis- ja otspindu, vaid ka avasid. Revolverpeasse ja suporti terahoidjasse paigaldatavate lõikeriistade suur arv koos sõltumatute tõkestite süsteemiga lubab töödelda pindu nende mitmesuguste etteantud kombinatsioonide, vastastikuste asendite ja mõõtmete puhul.

Revolverpinkide grupiseadistusi iseloomustab seadistamiseks vajaliku ajakulu vähenemine 50 ... 60% võrra ja üldine pinkide tootlikkuse tõus 40 ... 50%.

Revolverpinkide grupiseadistused esinevad kolmes põhilises erikujus:

1) kahe-kolme erineva tooriku töötlemiseks padrunis ilma ümber-



Joon. 174. Revolverpingi grupiseadistus kolme erineva tooriku töötlemiseks

seadistuseta, kusjuures igaühele nendest kasutatakse mõningaid revolverpea positsioone;
2) latist mitme tooriku vaheldumisi töötlemiseks ilma ümberseadistuseta;
3) mitme tooriku padrunis või latist töötlemiseks osalise ümberseadistusega.

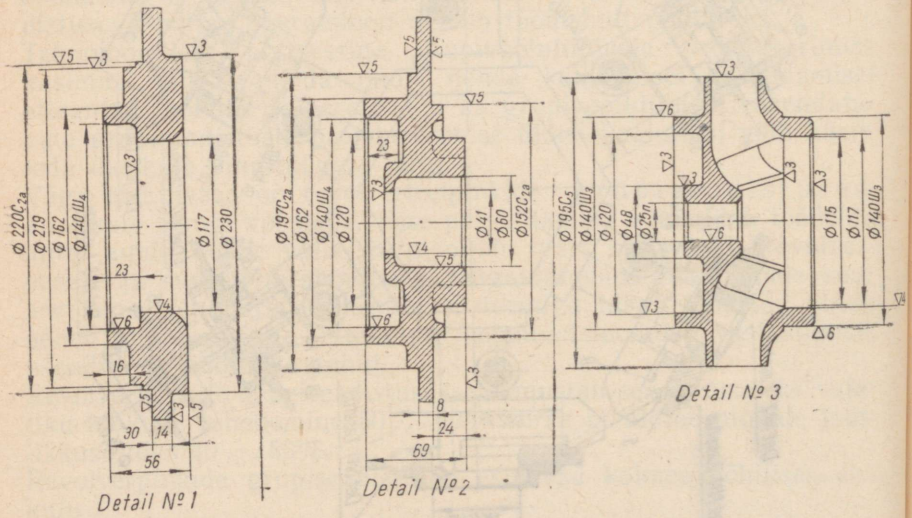
Joonisel 174 on toodud revolverpingi seadistus joonisel 175 näidatud kolme detaili töötlemiseks ilma ümberseadistusteta.

Selles seadistuses on põhiliseks toorik *3*, mis nõuab kahe paigalduse kohta nelja revolverpea positsiooni kokku kolmeteistkümne lõikeriistaga ja nelja tera suportis.

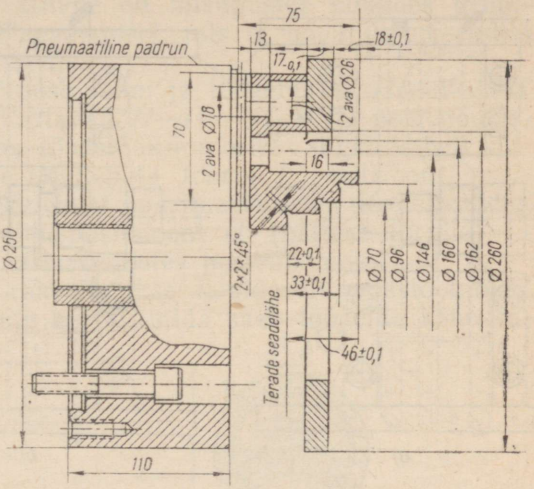
Toorikud *1* ja *2* ei koorma pinki täielikult; nad nõuavad täielikuks töötlemiseks kahe paigalduse juures kolme revolverpea positsiooni kokku kümne lõikeriistaga ja kaheksat tera suportis.

Pingi supordisse paigutatakse terad mitmesuguste toorikute ja paigalduste puhul ühest lähtest nii, et saaks töödelda otspindu supordi muutumatu asendi juures sängi pikisuuna suhtes; kui see pole võimalik, siis kasutatakse suporti kahte fikseeritud asendit.

Toorikud paigaldatakse padruni pakkide eri astmetele lähtamisega välis- või sisepinnast. Toorikute mitmesugune asetussügavus pakkides lubab lihtsamalt lahendada lõikeriistade paigutamist revolverpea positsioonides ja supordis, samuti säilitada revolverpea positsioonidele tõkestite püsivat asendit, mille juures töödeldakse mitu toorikut.



Joon. 175. Revolverpingi grupiseadistusega töödeldavad toorikud



Joon. 176. Eripakkidega padrun mitme erineva tooriku kinnitamiseks grupitöötlemisel

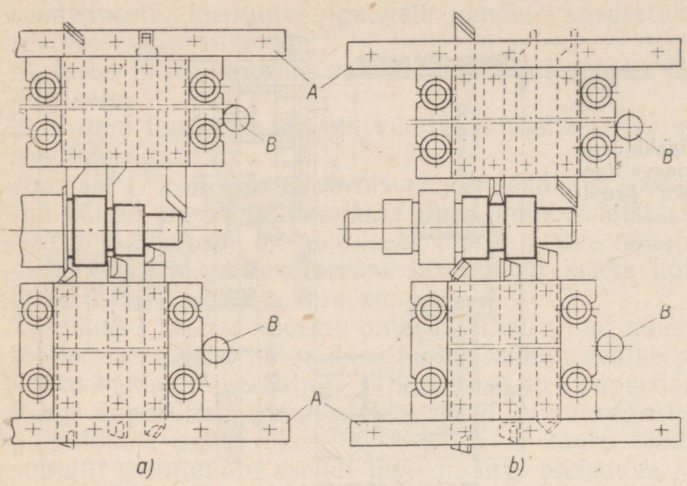
Joonisel 176 on näidatud padruni pakk, mis on kohandatud toorikute paigaldamiseks välis- ja sisepindade järgi; paigalduslähte asendi muutmiseks kasutatakse ühel astmel vaherõngast.

Suured võimalused on kõrge tootlikkusega grupiseadistuse kasutamiseks väikeste ja keskmiste toorikute töötlemisel horisontaalse teljega revolverpeaga pinkides: nende pinkide seadistustes võib olla väga palju lõikeriistu; revolverpea pöördub ühest positsioonist teise väga kiiresti.

Grupiseadistusega revolverpinke on otstarbekas ümber seadistada a) lõikeriistade plokkide vahetamisega revolverpea positsioonides ja suportites ilma mõõtu häälestamiseta pingis; b) teiste toorikute töötlemist segavate lõikeriistade seadistusest väljajätmisega; c) kinnituspadruni vahetamisega või selle pakkide fikseeritud ümberasetamisega.

Karusselltreipinkide grupiseadistused projekteeritakse analoogiliselt revolverpinkidega. Suurte ja töömahukate toorikute töötlemisel on nende pinkide koormamiseks vajalike erinevate detailide arv väiksem. Siirete ratsionaalse ühitamise võimalus suureneb, kuna karussellpinkides võib töödelda peade ja suportitega nii välispöördpindu kui ka otspindu. Tuleb vältida paigaldusrakiste ümberseadistusi, sest nende suurte mõõtmete juures võtab see palju aega.

Ühespindlilistele mitmeteratreipinkidele on iseloomulik see, et seadistused ja järelhäälestused vältavad kaua, kusjuures kõige rohkem aega kulub lõiketerade paigaldamiseks



Joon. 177. Mitmeterapoolautomaadi grupiseadistus teraplokkide ümberasetamisega: *a* — seadistus nr. *1*, *b* — seadistus nr. *2*

ja reguleerimiseks. Ent terade arvu suurenemisega seadistuses tõuseb selle efektiivsus põhiaja järgi.

Mitmeterapoolautomaatide ümberseadistamine mingi grupi toorikute töötlemiseks toimub teraplokkide vahetamisega või nende pööramisega pingi suportis.

Joonisel 177 on näidatud grupiseadistus mitme läbimõõduga ja mitmesuguse pikkusega astmetega võllide töötlemiseks teraplokkide vahetamisega. Plokkide kaugus tsentrite joonest fikseeritakse tugijoonlaudadega *A*, plokkide kaugus pikisuunas — tugitihvtidega *B*.

Joonisel 178 on näidatud mitmeterapoolautomaadi grupiseadistus tornile paigaldatud lühikeste toorikute töötlemiseks. Pingi kõrge tootlikkuse tagab suure arvu lõiketerade kasutamine.

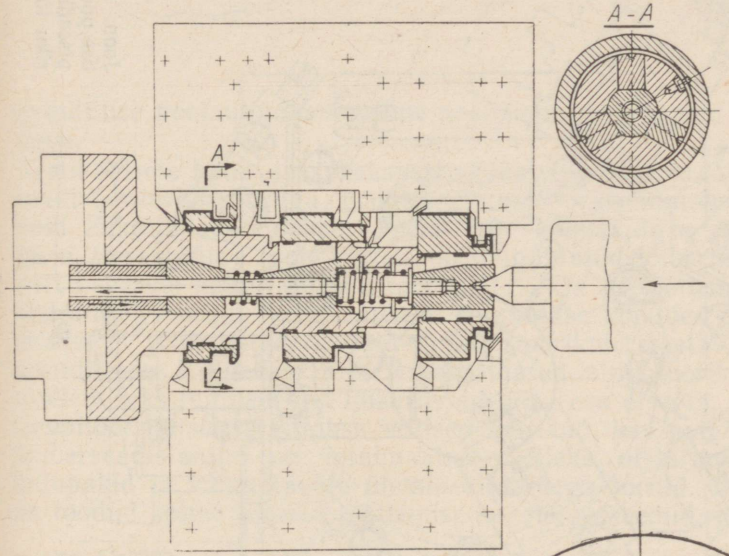
On võimalikud sellised grupiseadistused, kus grupi iga toorik töödeldakse ainult selle jaoks ettenähtud, ühte suportiossa (esi- või tagatsentri juures) paigutatud teradega. Seadistus projekteeritakse nii, et ühe tooriku töötlemisel teised terad ei ulatuks selleni või mööduksid seda puudutamata.

Keerukate toorikute töötlemisel vertikaalsetes mitmespindlilistes poolautomaatides on suuri võimalusi mitmesiirdeliste tehnoloogiliste operatsioonide sooritamiseks. Nii töödeldakse kaheksaspindlilises poolautomaadis 3 . . . 5 minutiga tooriku kaheksa kuni kümme sise- ja välispinda 2 . . . 3. klassi täpsusega. Selliste pinkide kauakestev seadistamine (4 . . . 8 tundi) takistab nende rakendamist

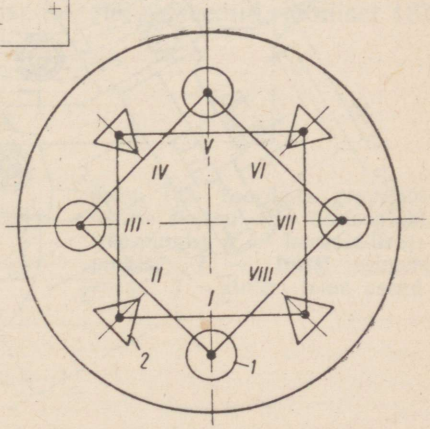
seeriatootmises. Väga efektiivne on niisugustes pinkides grupitöötlemine kahetsüklilisel seadistusel, mis ei nõua ümberseadistamist (joon. 179).

Toorik *1* paigaldatakse *I* positsiooni ja töödeldakse *III—V—VII* positsioonis, toorik *2* — vastavalt *II—IV—VI—VIII* positsioonis. Niisuguse seadistuse juures töödeldakse toorikut sageli kahelt küljelt. Selleks paigaldatakse töötlemata toorik *I* positsiooni (näiteks padrunisse); peale töötlemist paarituarvulistes positsioonides paigaldatakse toorik laadimispositsiooni *II* (näiteks tornile) ja edasi töödeldakse teda paarisarvulistes positsioonides.

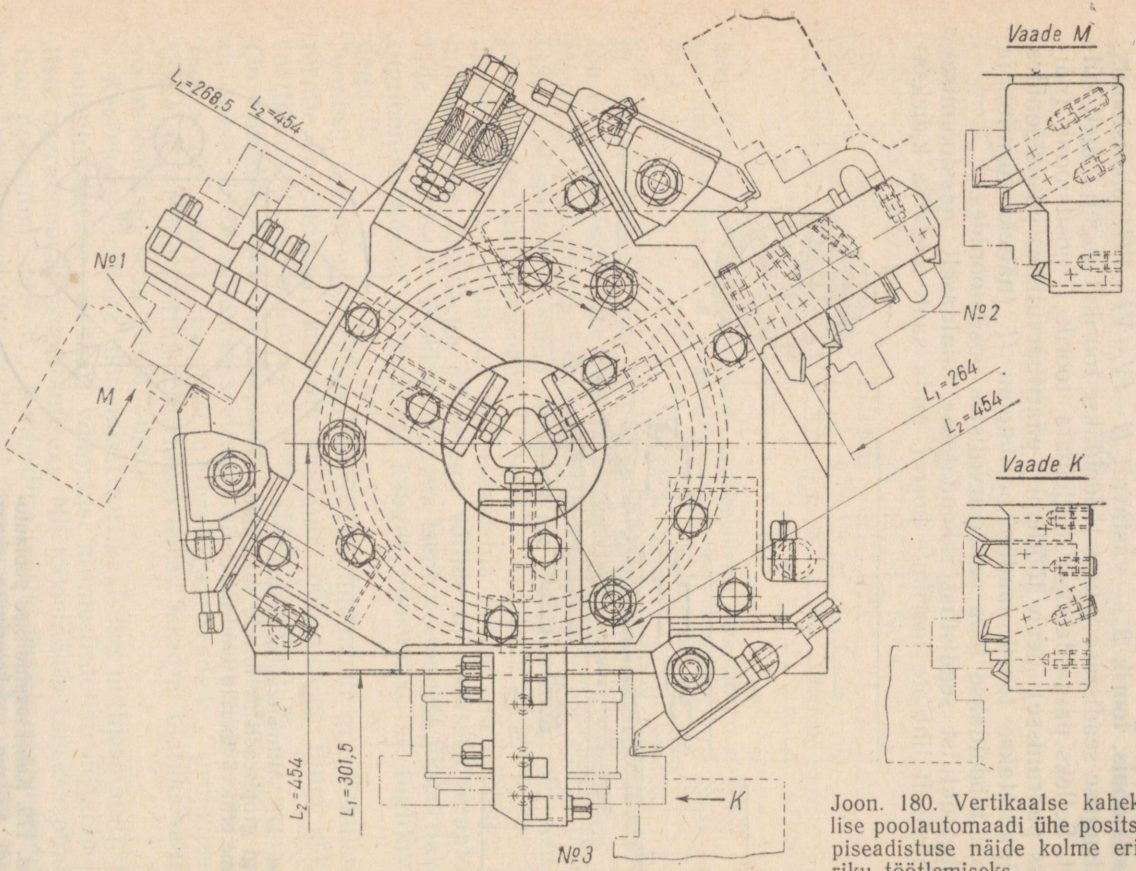
Kahetsüklilist seadistust rakendatakse laialdaselt masstootmises suhteliselt lihtsate toorikute korral, mida saab töödelda kaheksa-



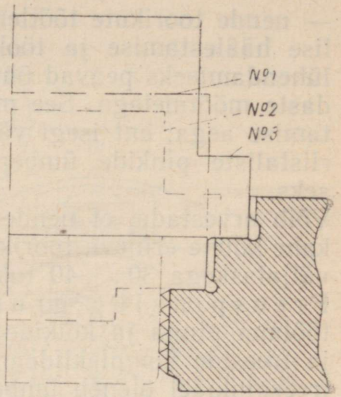
Joon. 178. Mitmeterapoolautomaattreipingi grupiseadistus tornile kinnitatud kolme erineva tooriku töötlemiseks



Joon. 179. Kaheksaspindlilise poolautomaadi töölaua indekseerimise skeem kahetsüklilisel seadistusel



Joon. 180. Vertikaalse kaheksaspindlilise poolautomaadi ühe positsiooni grupiseadistuse näide kolme erineva tooriku töötlemiseks

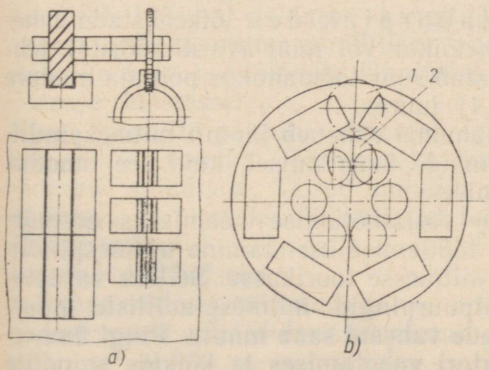


Joon. 181. Kolme erineva tooriku paigaldamise skeem grupitöötlemisel (joon. 180 järgi)

spindlilise poolautomaadi kolme positsiooni paigutatud lõikeriistadega.

Vertikaalsete kuue- ja kaheksaspindliliste poolautomaatide ümberseadistamisvõimalusega grupiseadistustel rakendatakse pööratavaid lõikeriistade plokke. Kahe- või kolmekülgse lõikeriistade ploki (terahoidja) igale küljele on paigaldatud lõikeriistad vastavalt kahe või kolme erineva tooriku (*1*, *2* ja *3*) töötlemiseks. Seadistamisel tooriku *1* töötlemiseks pööratakse kõikides pingi positsioonides lõikeriistade plokid sellele toorikule vastavatesse tööasenditesse. Külgedele *2* ja *3* paigaldatud ning toorikute *2* ja *3* töötlemiseks reguleeritud lõikeriistad tööst osa ei võta.

Grupitöötlemiseks valitakse sellised toorikud, kus paigaldusrakise ümberseadistamine on minimaalne. Selleks otstarbeks sobivad kujupakid ja vahetatavate üleminekuosadega tornid. Joonisel 180 on toodud kolme tooriku töötlemise seadistusskeemid, joonisel 181



Joon. 182. Toorikute grupitöötlemise skeem: *a* — horisontaalfreespingis; *b* — karussellfreespingis; *1* — freesi esimene asend; *2* — freesi teine asend

— nende toorikute töötlemise paigaldusskeemid. Pingi kinemaatilise häälestamise ja töökäikude pikkuste väljareguleerimise aja lühendamiseks peavad ühte gruppi kuuluvad toorikud olema lähedaste mõõtmetega. See meetod vähendab tunduvalt ümberseadistamise aega; ent isegi vähene, kuid sageli läbiviidav mitmelõikeriistaliste pinkide ümberseadistamine osutub mitteotstarbekohaseks.

Võib arvestada, et nendes pinkides õigustab grupitöötlemine end kahe-kolme erineva tooriku suurseeriatootmise summaarse aastase väljalaskega 30 ... 40 tuhat tükki.

Freespinkide grupiseadistustel tuleb ette näha pingi töölaua pinna ja kõikide freespeade maksimaalne ärakasutamine ja freeside komplektide rakendamine. Grupitöötlemise efektiivsus freespinkidel oleneb ümberseadistatavate rakiste töövõimelisusest ja nende ümberseadistamise kiirusest.

Tasapindade töötlemiseks grupiseadistusega on vaja paigutada toorikud grupirakisesse nii, et nende töödeldavad pinnad asetuksid ühele kõrgusele; sealjuures võib töödelda ühte toorikut ühest või mitmest küljest ühest positsioonist teise ümberpaigutamisega või erinevaid toorikuid. Horisontaalfreespinkides kasutatakse laialdaselt freeside komplekte. Need asetatakse tornile vastavalt tööpingi töölauale paigaldatud grupirakistele (joon. 182, *a*).

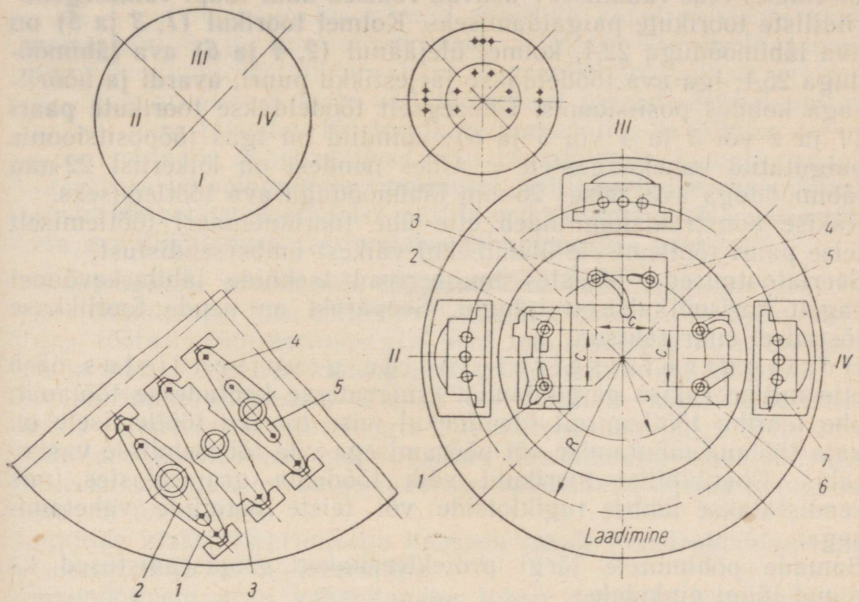
Karussellfreespinkide grupiseadistustel nähakse ette gruppi kuuluvate toorikute järjestikune töötlemine pingi töölaua eri tsoonides (joon. 182, *b*); pingi töölaua välisläbimõõdul paiknevate toorikute töötlemisel ei asetata sisemise rea rakistesse toorikuid, kuid need jäävad töövalmis seisundisse. Teiste toorikute töötlemisele üleminekul on ümberseadistamise aeg väga väike.

Grupitehnoloogia rakendamisel freespinkidel suureneb seeria- ja väikeseeriatootmises töötootlikkus 20 ... 30% võrra, seadistusaeg väheneb 60 ... 80%.

Vertikaal-ja radiaalpuurpinkides lõikeriistade vahetamisega (puur-süvisti-keermelõikur või puur-avardi-hõõrits) tehtavaid operatsioone iseloomustab suur töömahukus põhiaja madala kasutusteguri ($\eta_0 = 0{,}5 \ldots 0{,}4$) juures.

Puurimisoperatsioonide töömahukus väheneb järsult mitmespindliliste mitmepositsiooniliste pinkide kasutamisel, kuid see moodus on otstarbekohane masstootmises.

Puurpinkide grupiseadistuste väljatöötamise peamiseks eesmärgiks on avade ühespindlilise töötlemise asendamine mitmespindlilise töötlemisega üheaegselt mitmesse toorikusse. Selleks varustatakse universaalsed vertikaalpuurpingid mitmespindliliste puurpeadega, mille spindlite telgede vahesid saab muuta. Pingi ümberseadistamine seisneb konduktori vahetamises ja kõikide spindlite fikseeritud paigaldamises vajalikule telgedevahele.



Joon. 183. Viie tooriku grupitöötlemise skeem 36-spindlilises neljapositsioonilises agregaatpuurpingis: *1, 2, 3, 4, 5* — töödeldavad toorikud; *I* — laadimispositsioon; *II* — puurimispositsioon; *III* — avardamispositsioon; *IV* — hõõritsemispositsioon

Joon. 184. Seitsme tooriku grupitöötlemise skeem 15-spindlilises agregaatpuurpingis

Suurseeriatootmises rakendatakse grupitöötlemisel erilisi mitmespindlilisi mitmepositsioonilisi pinke.

Joonisel 183 on näidatud kangitüüpi toorikute grupitöötlemise skeem erilises mitmespindlilises puurpingis suurseeriatootmises. Töölaua igas positsioonis kinnitatakse toorikud ümberseadistatavatesse rakistesse.

Pingi spindlite paigutus arvestab iga tooriku avade telgedevahesid. Antud tooriku töötlemiseks kinnitatakse lõikeriistad vaid mõnesse spindlisse. Teised spindlid pöörlevad samal ajal tühjalt; nendesse kinnitatakse lõikeriistad teiste detailide töötlemisel.

Mõnda spindlit võib selle asendist sõltuvalt rakendada mitme tooriku töötlemiseks.

Joonisel 184 on näidatud mitme erineva tooriku grupitöötlemise skeem mitmespindlilises agregaatpingis. Toorikud *7* paigaldatakse raadiusel *R* asuvatesse rakistesse ja töödeldakse järjestikku *II*, *III* ja *IV* tööpositsioonis kolme ava kaupa kolme läbimiga.

Sisemises reas raadiusel *r* asuvad rakised kuut tüüpi väikesegabariidiliste toorikute paigaldamiseks. Kolmel toorikul (*1*, *3* ja *5*) on ava läbimõõduga 22*A*, kolmel ülejäänul (*2*, *4* ja *6*) ava läbimõõduga 25*A*; iga ava töödeldakse järjestikku puuri, avardi ja hõõritsaga kolmes positsioonis. Üheaegselt töödeldakse toorikute paari (*1* ja *2* või *3* ja *4* või *5* ja *6*); spindlid on igas tööpositsioonis paigutatud vahekaugustele *c*. Ühes nendest on lõikeriist 22-mm läbimõõduga ava, teises 25-mm läbimõõduga ava töötlemiseks.

Rakise konstruktsioon näeb ette ühe toorikutepaari töötlemiselt teise paari töötlemisele üleminekul väikest ümberseadistust.

Seeriatootmisega tehastes limiteerivad tsehhide läbilaskevõimet sageli horisontaalsisetreipingid. Seepärast on nende tootlikkuse tõstmisel suur tähtsus.

Horisontaalsisetreipinkide grupiseadistus näeb ette mitme rakise paigaldamist erinevatesse kohtadesse töölaual; ühe tooriku töötlemiselt üleminekul teise tooriku töötlemisele on vaja töölaua nihutamise või pööramisega viia tööasendisse vastav rakis. Ühetüübilisi toorikuid võib töödelda grupirakistes, mis seadistatakse ümber tugiklotside või teiste detailide vahetamisega.

Samade põhimõtete järgi projekteeritakse grupiseadistused ka muud tüüpi pinkidele.

Grupitöötlemisega automaatliinid tagavad soodsates tingimustes tööviljakuse tunduva tõusu ja omahinna alanemise. Selle olulisemaks tingimuseks on tööajafondi ratsionaalne kasutamine ümberseadistuse ajakao vähendamisega miinimumini. See tagatakse ühest küljest liini ümberseadistuse tehnoloogilise ja konstruktiivse ülesande läbimõeldud lahendusega, teisest küljest — tootmise õige planeerimise ja organiseerimisega.

Grupitöötlemise tehnoloogiliste protsesside projekteerimine toimub järgmise korra järgi.

1. Valitakse välja grupiseadistuse nõudeid rahuldav toorikute grupp; visandatakse töötlemismarsruut, antakse orienteerivad grupiseadistuse skeemid ja määratakse orienteerivalt põhiaeg.
2. Töötatakse välja grupi keerukamatele ja suurema väljalaskeprogrammiga toorikutele vastav seadistus; seejärel seostatakse seadistus grupi ülejäänud toorikutega; määratakse tükiaeg ja pingi koormus.
3. Täpsustatakse tööpingile esitatavad nõuded ja real juhtudel töötatakse välja universaalse pingi moderniseerimise või spetsialiseerimise ülesanne või uue pingi projektülesanne.
4. Töötatakse välja rakise konstruktsioon ja lõikeriistade seadistus; täpsustatakse lõikerežiim ja määratakse lõplikult ajanorm.
5. Koostatakse tehniline dokumentatsioon, mis sisaldab igale toorikule vajalikud töötlemisandmed ja paigutusjoonised.

Grupitehnoloogiliste protsesside efektiivsus ja real juhtudel ka nende kasutamisvõimalus oleneb detailide konstruktsiooni standardiseerimise ja normaliseerimise astmest. Tavaliselt toimub gruppi kuuluvate detailide valikul ja grupitehnoloogiliste protsesside ning grupiseadistuste väljatöötamisel jooniste tehnoloogiline kontroll ning täiendav töö toorikute materjalide ja liikide, detaili ja üksikpindade konstruktiivse kuju ja mõõtmete, samuti nendele esitatavate tehnoloogiliste tingimuste unifitseerimise osas. Ainult konstruktsiooni maksimaalse unifitseerituse korral võib välja töötada grupitöötlemise ratsionaalse tehnoloogilise protsessi.

Tehnoloogiliste protsesside tüübistamine. Tehnoloogiliste protsesside tüübistamise idee esitas prof. tehnikadoktor A. P. Sokolovski. Edasi töötasid tüpiseerimise alal prof. tehnikadoktor F. S. Demjanjuk ja mõned teised tehnoloogiliste erialainstituutide töötajad.

Tüpiseerimise esimeseks etapiks on detailide klassifitseerimine nende valmistamise tehnoloogia ühiste ülesannete järgi. Selle ülesande lahendamine kergeneb detailide klassifikaatori koostamisega, mille kasutamisel on kerge määrata vaadeldava detaili kuuluvust ühte või teise klassi.

Detailide klassifitseerimisega kaasneb nende konstruktsiooni unifitseerimine ja normaliseerimine.

Tüüpmõõtmete arvu vähendamine lubab detailide valmistuspartiisid suurendada ja real juhtudel rakendada suurseeriatootmises kasutatavaid meetodeid. Detailide konstruktiivsete elementide normaliseerimine võimaldab vähendada lõike- ja mõõteriistade nomenklatuuri ja lihtsustada pinkide ümberseadistamist.

Edasi töötatakse välja üldine põhimõtteline tehnoloogiline protsess, mille jaures määratakse kindlaks operatsioonide tüüpjärjestus, paigaldamise tüüpmeetodid, tehnoloogilise rakistuse tüüpkonstruktsioonid ja muud tingimused.

Suurema konstruktiivse unifitseerituse astmega detailidele koostatakse üks arvutuslike ajanormidega tehnoloogiline kaart.

Väiksema unifitseeritusastmega detailidele koostatakse põhimõtteline tehnoloogiline protsess, mida kasutatakse konkreetsete detailide tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel kohustusliku eeskujuna.

Konstruktiivselt oluliselt erinevatele detailidele töötatakse välja tehnoloogilised instruktsioonid.

Tüüptehnoloogilised protsessid töötatakse välja tehnoloogiliste lahenduste kogemuste analüüsi, süstematiseerimise ja üldistamise alusel. Nendes nähakse ette ja põhjendatakse kõrge tootlikkusega spetsialiseeritud seadmete, mehhaniseerimis- ja automatiseerimisvahendite rakendamine, toorikute progressiivsete saamis- ja töötlemismeetodite kasutamine. Tehnoloogiliste protsesside tüübista-

mine on vahetult seotud tehnoloogiliste tüüprakistuste (sageli ümberseadistatavate) konstrueerimisega.

Kõik see lubab tehnoloogilisi protsesse paremini rakistada ja samal ajal lühendab tähtaegu ning muudab tootmise odavamaks. Tüüptehnoloogilised protsessid lubavad seeriatootmises rakendada transpordi- ja laadimisoperatsioonide optimaalse mehhaniseerimisastmega esemeliselt suletud jaoskondi ja real juhtudel vahelduv-vooluselisi automaatliine.

Seniajani viiakse tüpiseerimist läbi igas masinaehitusharus vastavalt toodete nomenklatuurile ja tootmistingimustele. Tüpiseerimist rakendatakse edukalt raskemasinaehituses ning väga suure toodete nomenklatuuri ja tootmise pikaajalise ettevalmistamise tingimustes.

Tüpiseerimise arenedes peavad selguma kogu masinaehitusele üldised põhimõtted.

3. KOOSTAMISE TEHNOLOOGILISTE PROTSESSIDE PROJEKTEERIMINE

Koostamise tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel on lähteandmeteks: a) koostamisjoonis, mis määrab toote või sõlme konstruktsiooni; b) vastuvõtu tehnilised tingimused; c) programmülesande suurus; d) ülesande täitmise tähtaeg.

Koostamise tehnoloogilise protsessi väljatöötamise põhjalikkuse aste oleneb tootmistüübist ja programmülesande suurusest. Väljalastavate toodete suure arvu korral töötatakse koostamisprotsess välja detailselt ja võimalikult täieliku diferentseeritusega. Väikse väljalaske korral piirdutakse väga sageli vaid koostamisoperatsioonide üldise visandamisega.

Koostamise tehnoloogilise protsessi väljatöötamist tuleb alustada koostatava toote või sõlme konstruktsiooni ja selle töötingimuste, seejärel aga toote või sõlme vastuvõtu tehniliste tingimuste tundmaõppimisest.

Konstruktsiooni tundmaõppimine tuleb siduda koostamisjoonise tehnoloogilise kontrolliga.

Koostamisjoonis peab sisaldama kõiki koostamiseks vajalikke andmeid ja nimelt: toote konstruktsioonist kiiret ja täielikku ülevaadet võimaldavaid projektsioone ja lõikeid; koostatavas tootes esinevate detailide ja sõlmede numbreid, samuti nende detailide ja sõlmede spetsifikatsioone; koostamisel tagatavaid mõõtmeid ja eriti koostamisega saavutatavaid vajalikke lõtke (ülejäänud mõõtmeid tavaliselt koostamisjoonistele ei panda, et mitte muuta joonise lugemist tülikaks); andmeid toote kaalu kohta; koostatavale tootele või sõlmele esitatavaid erilisi tehnilisi tingimusi.

Tehnoloogilistel kaalutlustel on võimalikud mõned koostamist lihtsustavad konstruktsiooni muutmise ettepanekud. Ent sellised muudatused ei tohi muidugi rikkuda toote konstruktsiooni tervikuna ega mõjuda selle tööle ebasoodsalt.

Koostatava toote või sõlme tundmaõppimine lõpeb üld- ja sõlmkoostamise tehnoloogiliste skeemide kavandamisega. Koostatava toote või sõlme näidise olemasolul lihtsustub tehnoloogiliste koostamisskeemide väljatöötamine märksa. Sel juhul võib määrata koostamise järjekorra näidise katselisel lahtivõtmisel. Sealjuures kujutavad mittelahtivõetud kujul eemaldatavad elemendid tehnoloogilisi sõlmi, millele tuleb koostada sõlmkoostamise tehnoloogilised skeemid; üksikult, väljaspool sõlme koostist eemaldatavad detailid on vahetult sõlme või toote üldkoostamisele minevad elemendid.

Näidise lahtivõtmisel koostatakse lahtivõtmise tehnoloogiline skeem (tootest või sõlmest lähteelementide poole). Samaaegselt kirjutatakse üles lahtivõtmise järjekord. Vastupidises järjekorras koostamisel kontrollitakse üleskirjutuste õigsust ja tehakse vajalikud korrektiivid. Iga sõlmega toimitakse analoogiliselt eelnevaga. Nii saadakse üld- ja sõlmkoostamise tehnoloogilised skeemid. Näidise puudumisel on koostamise tehnoloogiliste skeemide väljatöötamine ja selle järjekorra kindlaksmääramine raskendatud.

Toote ja sõlme koostamiselementide omavahelist sidet määravad tehnoloogilised skeemid on lähteks koostamise tehnoloogiliste protsesside projekteerimisel. Keeruka toote koostamise tehnoloogilise protsessi väljatöötamine lihtsustub tehnoloogiliste koostamisskeemide olemasolul märgatavalt.

Sel juhul on võimalik välja töötada koostamise tehnoloogilised protsessid üksikutele gruppidele ja alagruppidele, mis koosnevad tavaliselt väikesest arvust liidetest, ja seejärel töötada välja üldkoostamise tehnoloogiline protsess. Peale selle võivad tehnoloogiliste koostamisskeemide olemasolul koostamise tehnoloogilisi protsesse välja töötada mitu tehnoloogi üheaegselt; asendades järjestikuse projekteerimise paralleelsega, õnnestub tunduvalt lühendada koostamise tehnoloogiliste protsesside väljatöötamisele kuluvat aega.

Koostatava objekti nihutamisega toimuval voolkoostamisel rakendatakse järgmisi meetodeid:

1) koostatava objekti käsitsi edasiandmisega ühest töökohast teise (mööda töölauda, mööda rullteed, käsitsi mööda rööpmeteta või rööbasteed nihutatavate vankritega);

2) koostatava objekti mehaaniliste transpordiseadmetega edasiandmisega ühest töökohast teise; sel juhul nähakse transpordisead-

med ette ainult nende kõrval koostatavate objektide operatsioonidevaheliseks nihutamiseks;

3) perioodilise nihkega konveieril (plaatkonveier, suletud kettajamiga mööda rööbasteed veetavad vankrid); sel juhul toimub koostamine konveieri peal selle seisuperioodil; konveieri viimaselt töökohalt lahkub konveieri iga nihke korral koostatud toode (või sõlm);

4) pidevalt liikuval konveieril, mis nihutab koostatavat toodet (või sõlme) sellise etteantud kiirusega, mille juures tagatakse koostamisoperatsioonide sooritamise võimalus iga koostamiskoha pikkusel.

Liikumatu objekti puhul voolkoostatakse liinile paigutatud liikumatutel stendidel. Iga tööline (või iga tööliste brigaad) sooritab oma operatsiooni, liikudes järjestikku ühe stendi juurest teise juurde.

Seeriatootmises on suure operatiivaja korral otstarbekohane kasutada liikuva voolkoostamise asemel liikumatu objektiga voolkoostamist, seda eriti raskete masinate koostamisel, mille nihutamine on raskendatud.

Töötajate üleminekuaeg ehk objekti nihutamise aeg

$$\tau = \frac{l}{v}, \tag{136}$$

kus l — töökoha pikkus m;
v — liikumiskiirus m/min.

Liikumiskiirus võetakse: a) 10 ... 15 m/min — tööliste üleminekul ja koostatava objekti käsitsinihutamisel; b) kuni 20 m/min — rullteed mööda nihutamisel; c) 30 ... 40 m/min — mehaanilistele transpordiseadmetele; d) 15 ... 20 m/min — perioodilise tööga koostamiskonveierile, 3 ... 5 m/min — pikkadele, suure üldkaaluga konveieritele.

Pidevalt liikuva konveieri kiirus määratakse valemiga

$$v = \frac{l}{t_{teg}} \text{ m/min}, \tag{137}$$

kus t_{teg} — tegelik koostamistakt min/tk.

Praktiliselt võetakse pidevalt liikuval konveieril koostamisel kiirus piirides 0,25 ... 3,5 m/min.

Voolkoostamise kestus

$$T_v = n_v t_v \text{ min}, \tag{138}$$

kus n_v — töökohtade (jaamade) arv koostamisliinil;
t_v — määratakse valemi (5) järgi, arvestades töökohtade teenindamise ajakadusid ja reglementeeritud vaheaegu puhkuseks.

Töökohtade arv määratakse koostamis- ja kontrolloperatsioonide arvuga, kaasa arvatud ka ettenähtud reservkohad.

Igal koostamiskohal vajalik tööliste arv määratakse olenevalt operatsiooni tehnoloogiliste siirete töömahukusest, nende ühitamise võimalustest ja üheaegse sooritamise mugavusest, samuti olenevalt koostatavate toodete või sõlmede mõõtmetest.

Koostamiskoha tootlikkus

$$Q = \frac{TB}{t_t}, \tag{139}$$

kus Q — tootlikkus ajaühikus (tunni, vahetuse kohta), väljendatud koostatavate toodete või sõlmede arvuga (tk.);
T — tööaeg, mille suhtes arvutatakse tootlikkus (tund, vahetus) min;
B — koostamiskoha tööliste arv;
t_t — koostamisoperatsiooni tükiaeg min.

Vooluliini koostamiskoha koormustegur

$$K_v = \frac{t_t}{t_v B}. \tag{140}$$

Koostamise vooluliini koormustegur

$$K_l = \frac{1}{n_v} \sum_{1}^{n_v} K_v. \tag{141}$$

Voolkoostamise eelisteks on koostamise laial rindel läbiviimise võimalus, operatsioonidevaheliste varude vähenemine, tööliste ja töökohtade spetsialiseerimine ning tööliste väiksema kvalifikatsiooni nõue. Voolkoostamise rakendamisel väheneb lõpetamata toodang, samuti väheneb koostamisprotsesside töömahukus nende diferentseerituse ja tööliste-koostajate parema spetsialiseerimise tõttu. Samal ajal on voolkoostamine seotud teatud nõuete täitmisega, mis ei piirdu konveierseadmega ega voolkoostamisliiniga, vaid laienevad tootmisprotsessi kõikidele eelmistele etappidele.

Voolkoostamisel tuleb toote konstruktsioon hoolikalt välja töötada ja kooskõlastada vooltootmise tehnoloogiliste tingimustega. Tuleb tagada koostamisliini häireteta ja koostamistaktiga seotud varustamine koostatava toote vahetatavate detailide ja sõlmedega. Voolkoostamisliinil võib lubada lukksepa-sobitustöid vaid juhul, kui need on ajaliselt täiesti reglementeeritud ja kooskõlastatud koostamistaktiga. Toote elementide individuaalse ligisobitamise juhul nõutakse, et need saabuksid koostamiskohale paarikaupa.

Masinadetailide mehaaniline töötlemine peab tagama voolkoostamise tehnoloogilistest nõuetest kinnipidamise (vahetatavus, detaili elementide reglementeeritud ruumilised hälbed jne.).

Seega osutub voolkoostamine progressiivseks meetodiks ja on tootmisprotsessi kõikidel etappidel tehnoloogilist kultuuri ja tootlikkuse tõusu nõudvaks teguriks.

Konveierkoostamisel laialdaselt rakendatav koostamistööde mehhaniseerimine täieneb järgnevas arenguprotsessis automatiseerimisega, mis on efektiivseks teguriks koostamisprotsesside tööviljakuse edasisel tõstmisel.

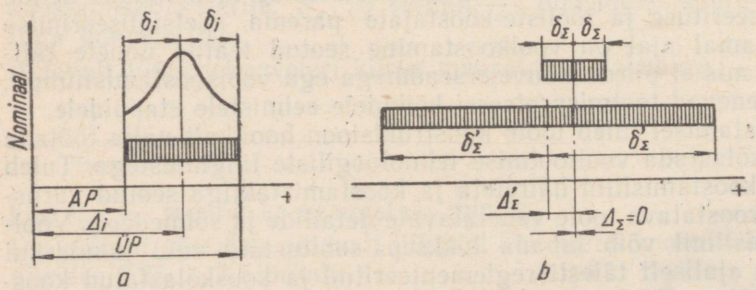
Koostamismeetodi ja selle organisatsiooniliste vormide valikul on põhilisteks määravateks teguriteks masina konstruktsioon ja tootmisprogramm.

Eespool oli vaadeldud mitmesuguseid koostamismeetodeid. Ükskõik millise toote juures saab kasutada kõiki koostamismeetodeid ja igal üksikjuhul tuleb lahendada küsimus, milline meetod osutub teiste suhtes eelistatuks. Seeria- ja masstootmises lahendatakse küsimus vahetatavusega koostamismeetodite kasuks. Sealjuures ei tarvitse vältida sobitamist (vajaduse korral), ent selle meetodid ei tohi rikkuda tootmise vooluviisilisust.

Koostamismeetod määratakse kindlaks koostatava objekti mõõtahelate analüüsi alusel. Vaadeldava mõõtahela juures oleneb sulgeva lüli etteantud täpsus koostamismeetodist. Täpsust iseloomustavad pool tolerantsivälja suurust δ_i ja tolerantsivälja keskkoha koordinaat nimimõõtme suhtes Δ_i (joon. 185, *a*):

$$\delta_i = \frac{ÜP - AP}{2}; \quad \Delta_i = \frac{ÜP + AP}{2}.$$

Sõlme koostamisel võib ilmneda, et sulgeva lüli pool tolerantsivälja δ'_Σ on suurem sulgeva lüli etteantud tolerantsivälja poolest



Joon. 185. Mõõtahela sulgeva lüli täpsust iseloomustavate suuruste skeem

suurusest δ_Σ ja sulgeva lüli nimimõõtme suhtes määratud tolerantsivälja keskkoha koordinaat Δ'_Σ ei lange kokku etteantud koordinaadiga Δ_Σ (joon. 185, *b*).

Sulgeva lüli etteantud täpsuse saamiseks on vaja vähendada sulgeva lüli mõõtme hajumisvälja $2\delta'_\Sigma$ kuni sulgeva lüli etteantud tolerantsini $2\delta_\Sigma$ ja ühitada sulgeva lüli hajumisvälja keskkohal koordinaat Δ'_Σ sulgeva tolerantsivälja keskkoha etteantud koordinaadiga Δ_Σ.

Sulgeva lüli etteantud täpsust tagava meetodi määramiseks on vaja ennekõike koostada mõõtahel, kuhu läheb antud sulgev lüli. Kõige sagedamini esinevad lineaarmõõtahelad, harvemini nurkmõõtahelad või lineaar- ja nurkmõõtmeid sisaldavad ahelad.

Mõõtahel koosneb mitmest koostislülist ja ühest sulgevast lülist. Sulgevaks lüliks on see, mis kujuneb sõlme koostamisprotsessis viimasena. Lineaarmõõtmetega ahelas on sulgevaks lüliks lõtk, pingus, avade või võllide eritelgsus, tasapindade mittekokkulangemine ja teised hälbed. Mõõtahela koostislülid jaotatakse suurendavateks ja vähendavateks. Suurendavaks lüliks on see, mille suurendamisel sulgev lüli suureneb, vähendavaks see, mille suurendamisel sulgev lüli väheneb.

Koostislülide poolt sulgevale lülile avaldatava mõjutuse astet ja suunda iseloomustab koostislülil esinev ülekandesuhe A_i. Ülekandesuhte määramisel on vaja leida selle suurus ja märk. Suurendavatele lülidele võetakse ülekandesuhe positiivne, vähendavatele — negatiivne.

Ülekandesuhe võrdub ühega, kui koostislüli muutus kantakse täielikult üle sulgevasse lülisse. Seepärast on lineaarmõõtahelate ülekandesuhted $+1$ või -1.

Mõõtahelates võivad esineda skalaarsete hälvetega lülid-mõõtmed, vektoriaalsete hälvetega lülid-mõõtmed, skalaarsete hälvetega lülid-lõtkud, vektoriaalsete hälvetega lülid-lõtkud. Lineaarmõõtahela koostislülid võivad olla järgmised.

1. Koostatavasse sõlme minevate üksikdetailide mõõtmed, näiteks pikkus, paksus, laius, läbimõõt; kahe ava telgede vahe; kaugus ava teljest tasapinnani; detaili kahe tasapinna vaheline kaugus. Need on skalaarsete hälvetega lülid-mõõtmed.
2. Koostatavasse sõlme minevate üksiksõlmede mõõtmed, näiteks koonilise veerelaagri monteerimislaius. Ka need on skalaarsete hälvetega lülid-mõõtmed.
3. Liitesse kuuluva kahe detaili, näiteks võlli ja ava telgede suhteline nihkumine, mis on põhjustatud liites esinevatest radiaallõtkudest. Need on lülid-lõtkud.

Jõu mõjumisel võib neid lõtkusid vaheldumisi ühel või teisel poolel täielikult likvideerida või saab seda teha ainult ühel poolel. Sel

juhul mõjutab sulgevat lüli lõtku suurus ja nad on skalaarsete hälvetega lülid-lõtkud.

Peale koostamist võib detailile jääda lõtku ulatuses meelevaldne asend. Sel juhul mõjutab sulgevat lüli nii lõtku suurus kui ka detaili asend lõtku ulatuses. Sellistel lülidel-lõtkudel on vektoriaalsed hälbed.

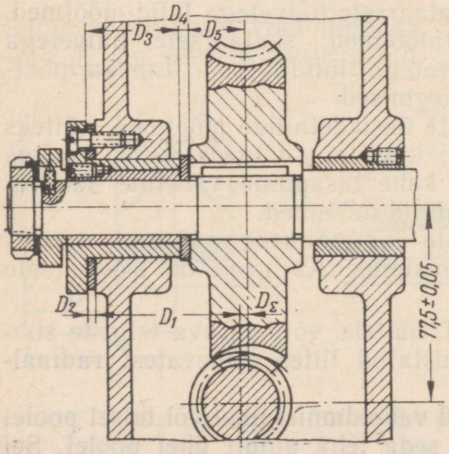
4. Kahe liitesse kuuluva detaili tasapindade mitmesugustel põhjustel esinev nihe, tingituna näiteks koostamise ebatäpsusest ja faktiliselt esinevast lõtkust. Need on skalaarsete hälvetega lülid-lõtkud.

5. Ühe detaili juures pindade ebakontsentrilisusest või eritelgsusest esilekutsutud hälbed, näiteks ava telje nihe välissilindrilise pinna telje suhtes; ühe välissilindrilise pinna telje nihe teise välissilindrilise pinna telje suhtes. Need on vektoriaalsete hälvetega lülid-mõõtmed.

Joonisel 186 on toodud näitena tigureduktor, kus tiguratta kesktasapinna ja teo telje vaheline lubatud suhteline nihe, mis on mõõtahela sulgevaks üliks, võrdub $D_\Sigma = 0 \pm 0{,}042$ mm.

Liikudes sulgevast lülist kellaosuti liikumise suunas, saame järgmised ahela lülid: D_1 — korpuse kõrgendi otspinna ja teo ava telje vaheline kaugus, mõõde $61 \pm 0{,}2$; D_2 — vaheseibi paksus, mõõde $3 - 0{,}04$; D_3 — äärikpuksi distantsosa pikkus, mõõde $38 + 0{,}1$; D_4 — vaheseibi paksus, mõõde $4 - 0{,}04$; D_5 — tiguratta otspinna ja kesktasapinna vaheline kaugus, mõõde $22 - 0{,}08$. Sulgevat lüli tähistatakse indeksiga Σ.

Sulgeva lüli etteantud täpsust tagava meetodi valikul määratakse esmalt kindlaks täisvahetatavuse meetodi kasutamise võimalus. Selleks määratakse väljaselgitatud mõõtahela koostislülide



Joon. 186. Tigureduktor ja selle mõõtahel

teadaolevate tolerantside järgi sulgeva lüli hajumisvälja pool laiust δ'_Σ valemist

$$\delta'_\Sigma = \sum |\delta_i|, \qquad (142)$$

kus δ_i — iga koostislüli pool tolerantsivälja.
Selle välja keskkoha koordinaat nimimõõtme suhtes

$$\Delta'_\Sigma = \sum \Delta_i, \qquad (143)$$

kus Δ_i — iga koostislüli tolerantsivälja keskkoha koordinaat.
Kui hälbe $2\delta'_\Sigma$ saadud suurus on väiksem või võrdne sulgevale lülile etteantud tolerantsist $2\delta_\Sigma$, osutub täisvahetatavuse meetodiga koostamine koostislülide etteantud tolerantside juures võimalikuks. Kui kujunev suurus Δ'_Σ pole võrdne etteantud Δ_Σ-ga, tuleb veel nihutada ühele või teisele poole sulgeva lüli hajumisvälja keskkoha koordinaati. Nihe sooritatakse ühe koostislüli nimimõõtme muutmisega vajaliku suuruse võrra. Kui $2\delta'_\Sigma > 2\delta_\Sigma$, siis on vaja täisvahetatavuse meetodiga koostamiseks ahendada koostislülide tolerantse. Valdaval enamikul juhtumeist on see ebaotstarbekohane, kuna detailide valmistamine muutub kallimaks. Vaadeldava näite jaoks

$$\delta'_\Sigma = 0{,}2 + 0{,}02 + 0{,}05 + 0{,}02 + 0{,}04 = 0{,}33 \text{ mm};$$

$$2\delta'_\Sigma = 0{,}66 \text{ mm}.$$

Saadud suurus on tunduvalt suurem sulgeva lüli tolerantsist, mis on 0,084 mm. Tolerantside ahendamine pole võimalik, kuna iga mõõtahelasse mineva lüli keskmine täpsus suureneb 0,017 mm-ni. See toob endaga kaasa detailide valmistamiskulude järsu suurenemise.
Edasi kontrollitakse osavahetatavuse meetodi rakendusvõimalust. Selleks määratakse sulgeva lüli hajumisväli ja selle välja keskkoha koordinaat tõenäosusteooria järgi. Erinevalt eelmisele tähistame tõenäosusteooria järgi määratud sulgeva lüli hajumisvälja poolt suurust δ''_Σ ja selle keskkoha koordinaati Δ''_Σ. Suurused δ''_Σ ja Δ''_Σ tuleb määrata vastavalt PTM-ile 23-61 olenevalt mõõtahela koostisest (lülid-mõõtmed ja lülid-lõtkud) ja hälvete iseloomust (skalaarsed ja vektoriaalsed).
Kui $2\delta''_\Sigma \leqslant 2\delta_\Sigma$, on osavahetatavuse meetodil koostamine võimalik. Jääb vaid nihutada sulgeva lüli hajumisvälja keskkoha koordinaati, nagu oli näidatud eespool. Kui $2\delta''_\Sigma > 2\delta_\Sigma$, siis on vaja osavahetatavuse meetodil koostamiseks koostislülide tolerantse ahendada või töötada suure riskiga. Näidatud moodustest sobivama valikul on mõnikord vaja teha majanduslik arvutus, kuna nii üks kui teine suurendab toote valmistamise kulusid: tolerant-

Tabel 15

Mõõtahela arvutusnäide

Mõõtahela lüli	Ülekande suhe A_i	Nimimõõde ja tolerants mm N_i; $2\delta_i$	Täpsusklass või ist	Tehnoloogiline operatsioon	Suhtelise hajumise tegur k_i	Suhtelise asümmeetrilisuse tegur α_i	Pool tolerantsivälja mm δ_i	Tuletatud suhtelise hajumise tegur k_{xi}	Tolerantsivälja keskkoha koordinaat nimimõõtme suhtes mm $i = \frac{UB + AB}{2}$
D	—	$0 \pm 0{,}042$	—	Koostamine	—	—	0,042	—	$\frac{0{,}042 + (-0{,}042)}{2} = 0$
D_1	—1	$61 \pm 0{,}2$	5	Sisetreimine	1,0	0	0,2	—	$\frac{0{,}2 + (-0{,}2)}{2} = 0$
D_2	—1	$3 - 0{,}04$	C_{3a}	Lihvimine	1,4	0	0,02	—	$\frac{0 + (-0{,}04)}{2} = -0{,}02$
D_3	+1	$38 + 0{,}1$	A_{3a}	Treimine	1,4	0	0,05	—	$\frac{0{,}1 + 0}{2} = 0{,}05$
D_4	+1	$4 - 0{,}04$	C_{3a}	Lihvimine	1,4	0	0,02	—	$\frac{0 + (-0{,}04)}{2} = -0{,}02$
D_5	+1	$22 - 0{,}08$	C_{3a}	Hambafreesimine	1,4	0	0,04	—	$\frac{0 + (-0{,}08)}{2} = -0{,}04$

side ahendamisel suurenevad detailide valmistamise kulud, aga riski suurenemisel kasvab lahtivõetavate toodete arv.

Kanname tabelisse 15 käsitletavale näitele vajalikud arvutusandmed. Koostislülide vaatlemisel leiame, et nad kõik on skalaarsete hälvetega lülid-mõõtmed. Seepärast arvutatakse skalaarsete hälvetega lülide-mõõtmete summeerimisvalemite järgi:

$$\delta''_\Sigma = \frac{1}{k_\Sigma}\sqrt{\sum A_i^2 k_i^2 \delta_i^2} =$$

$$= \frac{1}{1}\sqrt{1\cdot 1\cdot 0{,}02^2 + 1\cdot 1{,}4^2\cdot 0{,}02^2 + 1\cdot 1{,}4^2\cdot 0{,}05^2 + 1\cdot 1{,}4^2\cdot 0{,}02^2 + 1\cdot 1{,}4^2\cdot 0{,}04^2} = 0{,}223 \text{ mm.}$$

$$2\delta''_\Sigma = 0{,}446 \text{ mm.}$$

$$\Delta''_\Sigma = \sum A_i(\Delta_i + \alpha_i\delta_i) - \alpha_\Sigma\delta_\Sigma = [(-1)\cdot(0 + 0\cdot 0{,}2) + (-1)\cdot(-0{,}02 + 0\cdot 0{,}02) + (+1)\cdot(0{,}05 + 0\cdot 0{,}05) + (+1)\cdot(-0{,}02 + 0\cdot 0{,}02) + (+1)\cdot(-0{,}04 + 0\cdot 0{,}04)] - 0\cdot 0{,}042 = +0{,}01 \text{ mm.}$$

Saadud sulgeva lüli hälbe suurus $2\delta''_\Sigma$ on tunduvalt suurem tolerantsist $2\delta_\Sigma$, mis võrdub 0,084 mm. Koostislülide osavahetatavuse meetodiga koostamiseks vajalik tolerantside ahendamine on nagu eelmisel juhulgi ebaotstarbekohane. Riski protsendi suurendamine (k_Σ suurendamine) ei lahenda samuti küsimust. Seepärast pole ka osavahetatavuse meetodil võimalik saada etteantud täpsust.

Grupivahetatavuse meetod (valikumeetod) pole rakendatav mitmelülilistele mõõtahelatele. Seda kasutatakse tavaliselt kolmelüliliste mõõtahelate juures, kui sulgeva lüli nõutud täpsust ei saa tagada täis- või osavahetatavuse meetoditega isegi koostatavate detailide 1. täpsusklassi järgi valmistamisel.

Peale seda kui on välja selgitatud sulgeva lüli etteantud täpsuse saavutamise mittevõimalikkus täis- või osavahetatavuse meetodil, jääb üle koostada sobitamise või reguleerimisega.

Sobitamisega koostamise puhul määratakse üks lüli kompenseerivaks lüliks. Sulgeva lüli etteantud täpsus saadakse lõiketöötlemisega, kusjuures muudetakse kompenseerivat lüli koostamisel tehtud mõõtmistega määratud vajaliku väärtuseni. Kompenseeriva lüli nimimõõde, mis tagab sobitamiseks vajaliku töötlemisvaru, arvutatakse PTM 23-61 toodud valemitega.

Analoogiliselt lahendatakse ka koostamise organisatsiooniliste vormide küsimus. Esiteks tuleb valida vool- ja mittevoolkoostamise vahel. Mittevoolkoostamist rakendatakse põhiliselt ainult individuaaltootmises.

Seeria- ja masstootmises osutub kõige otstarbekohasemaks organisatsiooniliseks vormiks voolkoostamine.

Käsitsi ühelt töökohalt teisele edasiantava koostatava objektiga voolkoostamine õigustab ennast väikeseeriatootmises, kuna vajalikud kulutused töölaudadele, rullteedele ja vankritega rööbasteedele on väikesed.

Mehaaniliste transpordiseadmetega ühelt töökohalt teisele edasiantava koostatava objektiga voolkoostamine on rakendatav seeriatootmises grupi- ja vahelduv-vooluliinidel, samuti väikesegabariidiliste ja väikese kaaluga toodete koostamisel masstootmises.

Algul masstootmises rakendatud konveierkoostamine leiab ikka laiemat kasutamist ka seeriatootmises grupi- ja vahelduv-vooluliinide organiseerimisel. Perioodilise ja pideva liikumisega konveieri valikul määratakse sobiv variant real juhtudel koostamisoperatsioonide sooritamise võimalikkuse ja mugavusega liikuval konveieril ja koostamistakti suurusega. On vaja arvesse võtta asjaolu, et perioodilise tööga konveieri liikumiseks kulutatav aeg on sisuliselt kaoaeg ja mõnikord vägagi suur.

See kaoaeg määratakse valemiga

$$p = \frac{\tau}{t_{teg}} 100 = \frac{l}{v t_{teg}} 100\%, \qquad (144)$$

kus p — kaoaeg %;
τ — konveieri liikumise aeg min;
l — koostamiskoha pikkus m;
v — konveieri liikumiskiirus m/min;
t_{teg} — tegelik koostamistakt min/tk.

Mida pikem on vooluse takt, seda väiksem on konveieri liikumise kaoaja protsent.

Konveieri liikumise kaoaja etteantud protsentuaalsele suurusele võib määrata sellise koostamistakti suuruse, mille juures on otstarbekohane rakendada perioodilise liikumisega konveierit:

$$t_{teg} = \frac{l}{v} \frac{100}{p}. \qquad (145)$$

Näiteks koostamiskoha pikkuse $l = 4$ m, konveieri liikumiskiiruse $v = 5$ m/min ja tegeliku koostamistakti $t_{teg} = 3{,}2$ min juures saame:

$$p = \frac{4}{5 \cdot 3{,}2} \cdot 100 = 25\%.$$

Et konveieri liikumise kaoaeg ei ületaks 5%, peab koostamistakt olema

$$t_{teg} = \frac{4}{5 \cdot 5} \cdot 100 = 16 \text{ min/tk}.$$

Valitud koostamismeetod ja selle organisatsiooniline vorm mää-

ravad ära koostamisoperatsioonide sooritamisel kasutatavad seadmed ja esmajärjekorras voolkoostamise transpordiseadmed. On vaja ette näha ka tehnoloogilise protsessi järgi nõutud seadmed sobitamisoperatsioonide sooritamiseks ja tehniliseks kontrolliks ning koostatud sõlmede ja toodete sissetöötamiseks ja katsetamiseks.

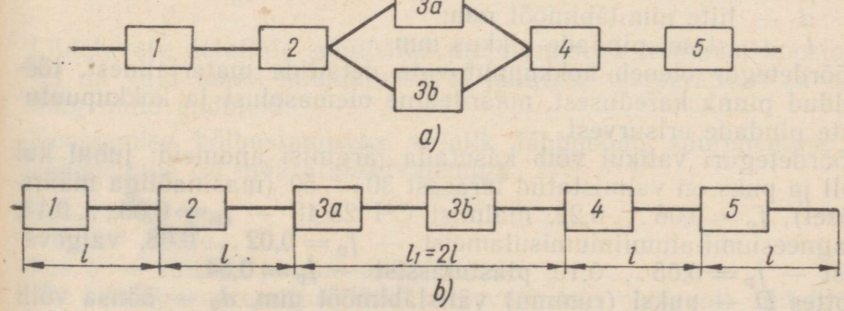
Koostamisoperatsioonide järjekorra määramisel tuleb juhinduda järgmistest kaalutlustest:

esiteks, eelnevad operatsioonid ei tohi raskendada järgnevate operatsioonide sooritamist;

teiseks, masstootmises määrab voolkoostamise protsessi jaotamise operatsioonideks koostamise takt, kusjuures iga operatsiooni sooritamiseks vajalik aeg peab olema võrdne või kordne taktiga;

kolmandaks, peale sellist operatsiooni, kus on tõenäosus praagi tekkimiseks, samuti peale reguleerimismeetodi järgi sooritatud koostamisoperatsiooni tuleb tulemusi kontrollida.

Juhindudes nendest kaalutlustest ja koostamise tehnoloogilisest skeemist, jaotatakse sõlme või toote koostamisprotsess tehnoloogiliselt mittejagatavateks elementideks ja määratakse iga sellise elemendi teostamiseks vajalik operatiivaeg. Elementide ühendatakse järjestikku operatsioonideks nii, et elementide operatiivaegade summa oleks ligikaudu võrdne tegeliku koostamistaktiga (arvestades perioodilise tööga konveieri edasiliikumise aega). Kui operatiivaeg on taktist suurem, siis püütakse see teha taktiga kordseks ja dubleeritakse töökohad. Voolkoostamisel koostatava toote või sõlme käsitsi edasiandmisega ühest koostamiskohast teise võib operatsioone sooritada joonisel 187, *a* näidatud skeemi järgi. Operatsioonid *1, 2, 4* ja *5* on vastavuses koostamistaktiga; operatsiooni *3* aeg on suurem taktist ja on selle kordne; see operatsioon sooritatakse kahel töökohal (*3a* ja *3b*); sel juhul ei rikuta koostamisliini



Joon. 187. Paralleeloperatsioonide skeem

töötakti, kuna töökohad 3*a* ja 3*b* saavad koostamiskohalt 2 koostatavaid tooteid taktiga võrdse intervalli järel, ja kuigi operatsiooni sooritamise aeg on nendel töökohtadel (3*a* ja 3*b*) võrdne kahekordse taktiga, saab koostamiskoht 4 koostamiskohalt 3 koostatavaid tooteid ikkagi taktiga võrdse intervalli järel.

Konveierkoostamisel pole vooluse lihtne kahekordistamine võimalik ja töökohad dubleeritakse joonisel 187, *b* toodud skeemi järgi. Sel juhul on koostamiskohal 3 ülejäänud koostamiskohtadega võrreldes kahekordne pikkus ($l_1 = 2l$) ja seda teenindavad kaks töölist. Kui esimene nendest alustab operatsiooni sooritamist asendis 3*a*, on teine sellest juba 50% ära teinud ja asub koostamiskoha keskel (asend 3*b*); kui teine tööline ligineb koos liikuva konveieriga koostamiskohale 4, ligineb esimene tööline koostamiskoha 3 keskkohale (asend 3*b*); andnud koostatava toote üle koostamiskohale 4, läheb teine tööline tagasi algpunkti (asend 3*a*); samal ajal asub esimene tööline koostamiskoha keskel (asend 3*b*) ja tsükkel kordub.

Jaotades koostamisprotsessi vastavalt tegelikule koostamistaktile operatsioonideks, määratakse iga operatsiooni sooritamise ajanorm ja vastava töö järk. Seoses asjaoluga, et kõikidel operatsioonidel ei õnnestu saada ühesugust ajanormi, tekivad tehnoloogiliselt mõõdapääsmatud seisakud, mis avalduvad koormustegurite määramisel — eraldi koostamiskohale ja kogu vooluliinile — valemid (140) ja (141). Koostamisoperatsioonide sisu täpsustamisel, seadmete ja rakistuse valikul ja režiimide määramisel tehakse vajalikud tehnoloogilised arvutused.

Piki-pressliidete projekteerimisel on pressi tonnaaži määramiseks vaja teada pealepressimise jõudu. Pealepressimise jõud määratakse valemiga

$$P_p = f_p p \pi d l \text{ N(kG)},$$

kus f_p — hõõrdetegur (haakumistegur) pealepressimisel;
p — erisurve liitepindadel N/m² (kG/mm²);
d — liite nimiläbimõõt mm;
l — istamispindade pikkus mm.

Hõõrdetegur oleneb kokkupuutuvate detailide materjalidest, töödeldud pinna karedusest, määrdeaine olemasolust ja kokkupuutuvate pindade erisurvest.

Hõõrdeteguri valikul võib kasutada järgmisi andmeid: juhul kui võll ja puks on valmistatud terasest 30 ... 50 (masinaõliga määrimisel), $f_p = 0{,}06 \ldots 0{,}22$, malmist СЧ 28-48 — $f_p = 0{,}06 \ldots 0{,}14$, magneesiumi-alumiiniumisulameist — $f_p = 0{,}02 \ldots 0{,}08$, valgevasest — $f_p = 0{,}05 \ldots 0{,}10$, plastmassist — $f_p = 0{,}54$.

Võttes D — puksi (rummu) välisläbimõõt mm, d_0 — õõnsa võlli ava läbimõõt mm, i — istu pingus mm, E_A — puksi materjali

elastsusmoodul N/m² (kG/mm²), E_B — võlli materjali elastsusmoodul N/m² (kG/mm²), on suurus

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{i}{\left(\frac{C_A}{E_A} + \frac{C_B}{E_B}\right)};$$

sealjuures

$$C_A = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_A;$$

$$C_B = \frac{d^2 + d_o^2}{d^2 - d_o^2} - \mu_B,$$

kus μ_A ja μ_B — välis- ja sisedetaili materjali Poissoni tegurid (terasele $\mu = 0{,}3$, malmile $\mu = 0{,}25$).

Mahapressimise jõud ületab pealepressimise jõu sageli 10 ... 15%. Pressi tonnaaž valitakse pealepressimise jõu järgi, võttes varuteguriks $k = 1{,}5 \ldots 2{,}0$.

Pealepressimisel suureneb välisdetaili välisläbimõõt ja väheneb sisedetaili siseläbimõõt. Tehnoloogilise protsessi väljatöötamisel on vaja neid muutusi arvestada, kui nimetatud mõõtmed on piiratud tolerantsidega.

Välisdetaili välisläbimõõdu suurenemine

$$\delta_2 = \frac{2pd^2d_0 10^3}{E_A(D^2 - d^2)} \ \mu\text{m}.$$

Sisedetaili siseläbimõõdu vähenemine

$$\delta_1 = \frac{2pd^2d_0 10^3}{E_B(d^2 - d_o^2)} \ \mu\text{m}.$$

Liidetavate detailide soojusliku mõjutamisega toimuval koostamisel on vaja teada kuumutuse või jahutuse temperatuuri ja aega ning muid andmeid.

Koostamise hõlbustamiseks vajalik läbimõõdu suurenemine või vähenemine Δd määratakse valemiga

$$\Delta d = \delta + i \ \mu\text{m},$$

kus δ — suurim pingus antud liitele;
i — garanteeritud lõtk, mis valitakse olenevalt liidetavate detailide gabariitmõõtmetest.

Vajalik välisdetaili kuumutustemperatuur T_B või sisedetaili jahutustemperatuur liiteprotsessi algmomendil määratakse tingimusest

$$\Delta d \cdot 10^{-3} < \alpha T_B d,$$

kust

$$T_B > \frac{\Delta d 10^{-3}}{\alpha d},$$

kus d — liitepinna nimiläbimõõt mm;
α — kuumutatava või jahutatava detaili materjali joonpaisumistegur. Teguri väärtused on toodud tabelis 16.

Tabel 16

Joonpaisumistegurite $\alpha \cdot 10^{-6}$ väärtused

Materjal	Kuumutus	Jahutus
Süsinik- ja madalaltlegeeritud teras	11,0	—8,5
Hall- ja tempermalm	10,0	— 8,0
Pronks	17,0	—15,0
Valgevask	18,5	—16,0
Alumiiniumisulamid	23,0	—18,0
Magneesiumisulamid	26,0	—21,0

Detaili toimetamisel kuumutus- või jahutusseadmest koostamiskohale on tema jahtumine või soojenemine vältimatu. Andes ette detaili edasitoimetamise aja t, määratakse detaili temperatuur T_A, mida see peab omama kuumutusseadmest väljastamise momendil:

$$T_A = T - \frac{T - T_B}{e^{-kt}},$$

kus T — ümbritseva õhu temperatuur °C;
e — naturaallogaritmide alus ($e = 2{,}7182$).
Puksitüüpi detailidele määratakse astendaja k valemiga

$$k = \frac{\alpha_1}{c\gamma} \cdot \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{l}\right)\frac{100}{3},$$

kus c — puksi materjali erisoojusmahtuvus kcal/kG · °C;
γ — puksi materjali tihedus kg/m³;
h — puksi seinapaksus mm;
l — puksi pikkus mm;

α_1 — soojusülekandetegur puksi ja ümbritseva keskkonna vahel kcal/m² · h · °C. Kui $\frac{1}{h} + \frac{1}{l} = 0{,}15 \ldots 0{,}25$ l/mm, siis peale kuumutamist keevas vees $\alpha_1 = 100 \ldots 140$, kuumas õlis $\alpha_1 = 50 \ldots 70$; elektriahjus $\alpha_1 = 20 \ldots 30$; peale jahutamist piirituses (atsetoonis, bensiinis) koos süsihappelumega $\alpha_1 = 25$; vedelas lämmastikus $\alpha_1 = 22$, süsihappelumes $\alpha_1 = 10 \ldots 15$.

Puksi temperatuurini T_A kuumutamiseks või jahutamiseks vajalik aeg vedelas või gaasitaolises keskkonnas arvutatakse valemiga

$$t_1 = -\frac{1}{k} \ln \frac{T_{kk} - T_A}{T_{kk} - T_a},$$

kus T_{kk} — kuumutava või jahutava keskkonna (vanni, ahju, kapi) temperatuur °C;

T_a — detaili algtemperatuur °C.

Antud juhul on soojusülekandeteguril järgmised väärtused: peale kuumutust elektriahjus $\alpha_1 = 50$, õlis $\alpha_1 = 90$, keevas vees $\alpha_1 = 800$; peale jahutamist süsihappelumes $\alpha_1 = 40$, atsetooni ja süsihappelume segus $\alpha_1 = 570$, piirituse ja süsihappelume segus $\alpha_1 = 380$; vedelas lämmastikus $\alpha_1 = 700$. Viimase nelja keskkonna kohta on α_1 näidatud ligikaudu, kuna selle suurus on muutuv.

Mittelahtivõetavate neetliidete koostamise projekteerimisel määratakse neetimiseks vajalik jõud. Selle jõu järgi valitakse neetimispress nii, et tema võimsus oleks veidi suurem arvutuslikust. Neetimisjõud oleneb needi materjalist, selle mõõtmetest ja pea kujust. Sulgeva pea mõõtmed võetakse tavaliselt võrdsed algpea mõõtmetega. Neetimisjõud arvutatakse valemiga

$$P_n = k d^{1{,}75} \sigma_B^{0{,}75} \text{ N(kG)}, \qquad \text{(a)}$$

kus k — kujutegur;

d — needi varre läbimõõt mm;

σ_B — needi materjali tõmbetugevus N/m² (kG/mm²).

Kujutegur k on sfäärilistele peadele 28,6; peitpeadele 26,2, lamepeadele 15,2; toru- ja pooltoruneetidele 4,33. Kui $D_{pf} \neq D_p$, siis asetatakse valemisse (a) needi varre tuletatud läbimõõt:

$$d_t = d \frac{D_{pf}}{D_p},$$

kus D_{pf} — sulgeva pea faktiline läbimõõt;

D_p — algpea läbimõõt.

Väljatöötatud tehnoloogiline protsess ei pea tagama üksnes kvaliteetse koostamise vastavalt koostatava toote tehnilistele tingimus-

tele, vaid peab olema ka etteantud tootmistingimustes efektiivne ja rentaabel.

Koostamiseks projekteeritavaid tehnoloogilisi protsesse hinnatakse variantide valikul või analoogiliste toodete koostamisprotsessidega kõrvutamisel absoluutnäitajate järgi: operatsioonide ja kogu koostamisprotsessi töömahukuse järgi (või töömahukuse pöördväärtuse — tootlikkuse järgi), samuti üksikute koostamisoperatsioonide ja kogu koostamise tehnoloogilise protsessi omahinna järgi.

Koostamise tehnoloogiliste protsesside hindamise suhtelisteks näitajateks võib võtta:

a) iga koostamiskoha koormusteguri ja koostamisliini keskmise koormusteguri, mis määratakse valemitega (140) ja (141);

b) koostamisprotsessi töömahukuse teguri φ_k, mis määratakse koostamisprotsessi töömahukuse T_k suhtega antud tootesse või sõlme minevate kõikide detailide tootmisprotsesside summaarsesse töömahukusse T_{det}:

$$\varphi_k = \frac{T_k}{T_{det}},$$

See tegur iseloomustab toote või sõlme tootmisprotsessi tervikuna. Mida väiksem on teguri φ_k väärtus, seda paremini on läbi töötatud ja omavahel kooskõlastatud toote detailide valmistamise protsessid ja toote koostamise protsessid. Ent tuleb arvestada asjaolu, et masinadetailide valmistamise protsesside töötootlikkuse tõstmisel küll väheneb T_{det} suurus, kuid suureneb φ_k, kui samaaegselt ei rakendata koostamisprotsesside töömahukust vähendavaid tehnoloogilisi abinõusid; sellega seoses kõigub φ_k väärtus laiades piirides: 0,1 ... 0,4 ja isegi kõrgemale. Tootmise koopereerimise arenemisega masinaehituses kaotab φ_k tootmisprotsessi tervikuna iseloomustava teguri tähenduse.

Koostamisprotsessi töömahukuse teguri asemel võiks koopereeritava tootmise tingimustes soovitada koostamise omahinna tegurit φ_s, mis määratakse koostamise omahinna S_k suhtega toote või sõlme omahinda tervikuna (kaasa arvatud ka koostamise omahind) S_{toode}; seejuures

$$\varphi_s = \frac{S_k}{S_{toode}}$$

iseloomustab usaldatavamalt koostamisprotsessi osatähtsust antud toote üldises tootmisprotsessis, peegeldades mitte üksnes elava, vaid ka asjastatud töö osa.

Põhilisteks koostamisprotsesside tehnilis-majanduslikke näitajaid suurendavateks tehnoloogilisteks abinõudeks on: käsitsioperatsi-

oonide asendamine maksimaalse astmeni mehhaniseeritud operatsioonidega; koostamis- ja kontrollrakiste laialdane kasutamine; tehnoloogiliselt mõõdapääsmatute seisakute likvideerimine või võimaluse piirides vähendamine tehnoloogiliste siirete vastava ümberjaotamisega operatsioonide vahel, kusjuures operatiivaega püütakse võimalikult paremini kooskõlastada koostamistaktiga.

Koostamisprotsesside tehnoloogiline dokumentatsioon koosneb koostamisjoonistest, sõlm- ja üldkoostamise tehnoloogilistest skeemidest, koostamise operatsioonikaartidest, koostamise instruktiivkaartidest.

Koostamise operatsioonikaardil antakse tehnoloogilise koostamisprotsessi operatsiooni üldplaan; sellel leiduvad ka tehnoloogilise koostamisprotsessi sooritamiseks vajalikud andmed.

Koostamise instruktiivkaardid koostatakse üksikutele operatsioonidele nende erilise keerukuse korral ja need sisaldavad üksikasjalikke juhiseid operatsiooni sooritamiseks. Instruktiivkaartidel näidatakse kõikide üksikute töövõtete ajanormid.

VI PEATÜKK

TÜÜPDETAILIDE JA MASINASÕLMEDE TOOTMISE TEHNOLOOGIA

1. VÕLLID

Selle klassi detailide konstruktiivseteks põhiliikideks on siledad, astmelised ja äärikvõllid.

Kõige rohkem on levinud astmelised võllid jämeda osaga keskel või ühel otsal. Äärikvõlle kasutatakse põhiliselt raskemasinaehituses (hüdroturbiinid), kusjuures harilikult nad on õõnsad.

Eri grupi moodustavad vänt- ja nukkvõllid. Astmeliste võllide kaelad võivad olla liistusoonte, hammaste või keermetega. Üleminekud ühelt astmelt teisele tehakse soone või siirdmikuga. Et siirdmike töötlemine on keerukam, kasutatakse kõigil võimalikel juhtudel sooni. Võlli otspinnad on otstarbekas faasida. Võlle, mille pikkus ei ületa 15-kordset läbimõõtu ($l \leqslant 15d$), loetakse jäikadeks võllideks, kui aga $l > 15d$ — mittejäikadeks võllideks.

Võllide valmistamise tehnilisi tingimusi iseloomustavad alljärgnevad andmed. Istamiskaelte läbimõõdud valmistatakse 2. või 3. klassi täpsusega, erandjuhtudel aga ka 1. klassi täpsusega. Kaelte ovaalsus ja koonilisus peab mahtuma nende läbimõõdu tolerantsi piiridesse. Istamiskaelte viskumine lähtekaelte suhtes (kahekordne ekstsentrilisus) ei tohi ületada 10 ... 30 μm. Tugipinna otsviskumine suurimal raadiusel ei tohi ületada 0,01 mm. Liistusoonte või hammaste kalle võlli telje suhtes ei tohi ületada 0,1 μm/mm (0,1 μm pikkuse 1 mm kohta); kaelte pikkuste tolerantsid on 50 ... 200 μm; lubatav võlli telje kõverus on 0,03 ... 0,05 mm/m; istamiskaelte pinnakaredus on 7. ... 10. klass, otspindade ja astmete puhul 4. ... 5. klass.

Võllide materjaliks kasutatakse põhiliselt terast 40. Vastutusrikkad võllid tehakse legeeritud konstruktsiooniterastest (kroom-, kroomnikkel-, kroomnikkelmolübdeenterastest).

Spetsiaalsete võllide puhul (näit. valtspinkide valtsid, suurte metallilõikepindade spindlid jne.) kasutatakse perliitseid tempermalme, magneesiumiga modifitseeritud ja kera- ning grafiidistruktuuriga malme. Need materjalid on kulumiskindlad ja summutavad võnkumisi.

Mass- ja suurseeriatootmises stantsitakse võllide toorikud kinnistes stantsides haamrite või presside abil. Stantsimisele järgneb kraadi äralõikamine.

Astmeliste võllide toorikuid valmistatakse ka rotatsioonsepistusmasinatel ja põikkeermelise valtsimise teel. Ühepoolse jämendusega toorikuid toodetakse horisontaalsepistusmasinatel ja elektrijämendusega.

Võllide valmistamiseks, mille astmete läbimõõdud on väikeste erinevustega, kasutatakse toorikutena ka kuumvaltsmaterjali.

Tooriku tootmise meetod valitakse tooriku valmistamise ja mehaanilise töötlemise kõrvutatud variantide summaarse omahinna võrdlemise teel (vt. V peatükk). Siledate võllide valmistamiseks kasutatakse peamiselt kalibreeritud valtsmaterjali.

Individuaal- ja väikeseeriatootmises valmistatakse võllide toorikud kas kuumvaltsmaterjalist või vabasepistamisega (väikeseeriatootmises kasutatakse sageli ka allapandavaid stantse).

Sepistatud toorikute lähtematerjaliks on ümarvaltsmaterjal.

Suurte võllide toorikud valmistatakse vabasepistamise teel valuplokkidest või ettevalmistatud elementidest elektri-räbukeevitusega.

Et valtsmaterjali ja sepiste kõverus ulatub tihti kuni 5 μm/mm (5 μm pikkuse 1 mm kohta), siis kasutatakse töötlemisvaru vähendamiseks õgvendamist, mille tulemusena toorikute kõverus väheneb kuni 0,5 ... 1 μm/mm. Astmeliste võllide kaelte samatelgsuse hälve ei tohi olla üle $^1/_4$ suurema kaela läbimõõdu tolerantsiväljast.

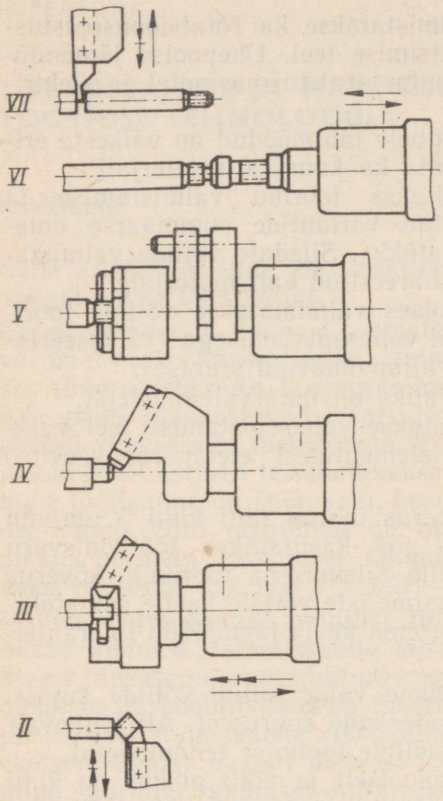
Töötlemise tehnoloogia ja seadmete valik sõltub võllide kujust, mõõtmetest, jäikusest ja tootmisülesande suurusest. Alljärgnevalt käsitleme astmeliste ja siledate võllide tootmise tehnoloogiat.

Juhul kui astmed asetsevad ühepoolselt ja võlli pikkus on kuni 120 mm, toimub töötlemine lattmaterjali revolverpinkides või automaatides, kus kõik kooriv- ja siluvtöötlemise siirded tehakse enne detaili mahalõikamist. Joonisel 188 on toodud revolverpingi seadistus kalibreeritud lattmaterjalist võlli töötlemiseks. Võlli otsa keermetamine toimub lünetthoidjas, mis vähendab vibratsiooni ja lati nihkumist töötlemisel.

Astmeliste võllide (pikkusega $L > 120$ mm) stantsitud ja lattmaterjalist mahalõigatud toorikute töötlemine toimub harilikult tsentrite vahel järgmise marsruudiga:

1) otspindade freesimine üheaegselt või teineteise järel; 2) tooriku mõlema otsa tsentreerimine; 3) tooriku koorivtöötlemine (harilikult kahe paigaldusega); 4) siluvtöötlemine; 5) kaelte koorivlihvimine; 6) liistusoonte või hammaste freesimine; 7) avade puurimine (kui see on joonisel ette nähtud); 8) termiline töötlemine (kui see on ette nähtud); 10) kaelte lõplik lihvimine.

Mittejäikade võllide töötlemise marsruut on keerukam lisaoperatsioonide — kaela lüneti alla treimine ja lihvimine — (tehakse enne



Joon. 188. Võlli töötlemise skeem revolvertreipingis: *II* — otspinna töötlemine; *III* — keerme alla töötlemine; *IV* — faasimine; *V* — keermetamine; *VI* — varda vabastamine, etteandmine kuni tõkestini ja kinnitamine; *VII* — mahalõikamine

võlli treimist) ning mitme vaheõgvendusoperatsiooni (juhul kui tehnilised tingimused seda lubavad) arvel.

Iga mehaanilise töötlemise tehnoloogilise siirdega vähenevad tooriku hälbed seaduspäraselt, järelikult oleneb iga elementaarpinna töötlemise siirete arv tooriku valmistamise täpsusest ja valmisdetailidele esitatavatest nõuetest.

Istamiskaelte viskumise kõrvaldamiseks lähtepindade suhtes töödeldakse neid ühe paigaldusega.

Tooriku tsentriavad on läheteks enamiku operatsioonide sooritamisel. Õõnsate võllide välispindade kontsentrilisuse tagamiseks võlli ava istamispindade suhtes kasutatakse läheteks ava koonusfaase või tsentriavakorke.

Võlli teljega paralleelsuse tagamiseks tuleb liistusooned või hambad töödelda tsentritele paigaldusega, võib töödelda ka prismadele või tsentreeritavatele puksidele paigaldusega, kuid seejuures on vaja tagada lähtekaelte täpne töötlemine tsentriavade suhtes.

Astmete pikkusmõõtmete tolerantsidest range kinnipidamine tagatakse mõõtmete automaatse saamise meetodil, võlli otspindade paralleelse mõõtutöötlemisega ja tooriku paigaldamisega ujuvale tsentrile vastavalt seadistatud pingil. Tolerantsid peavad olema sel juhul antud võlli vasakult otsalt.

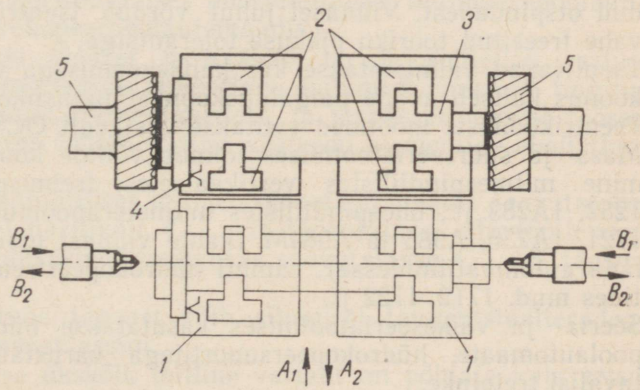
Mass- ja suurseeriatootmises on otspindade freesimiseks ja tsentreerimiseks kaks varianti:

a) suuremate mõõtmetega võllide töötlemiseks kasutatakse freesimis-tsentreerimispoolautomaate MP-71 ja MP-73, millel võib töödelda kuni 125 mm läbimõõduga 500 mm pikkusi toorikuid, ning trummeltüüpi freesimis-tsentreerimispoolautomaate MP-78, mis on ette nähtud kuni 60 mm läbimõõduga 825 mm pikkuste toorikute töötlemiseks;

b) kuni 50 mm läbimõõduga 525 mm pikkuste võllide otspindu freesitakse kahepoolsetes otspindade freesimise automaatides A981M, tsentreeritakse aga kahepoolsetes tsentreerimisautomaatides A982M. Mõlemaid pinke on võimalik paigutada automaatliini.

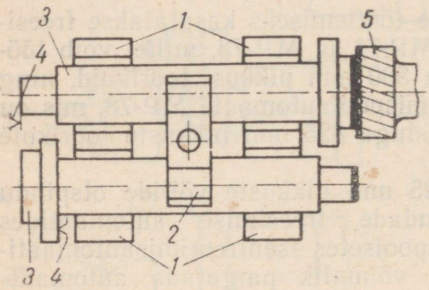
Seeria- ja väikeseeriatootmises sooritatakse eeltoodud operatsioonid freesimis-tsentreerimispinkides ФЦ-1 ja ФЦ-2 (joon. 189). Võib aga ka freesida horisontaal- või pikifreespinkides ja eraldi tsentreerida ühepoolsetes või kahepoolsetes tsentreerimispinkides.

Võlli otsad töödeldakse ühe läbimiga, kusjuures tagatakse tehnilistes tingimustes ettenähtud täpsus ja pinnakaredus.



Joon. 189. Otspindade freesimise ja tsentreerimise skeem freesimis-tsentreerimispingis: *1* — supordid; *2* — kinnitusprismad; *3* — töödeldav toorik; *4* — tõkesti; *5* — freesid. Nooled *A* ja *B* näitavad suportite ja tsentreerimisspindlite liikumise järjekorda; peene joonega on näidatud tooriku lõppasend tsentreerimisel

Joon. 190 on näidatud seeriatootmises kasutatav võlli otspindade horisontaalfreespingis töötlemise tüüpiline skeem toorikute ümberasetamisega. Töölaua iga käigu järel võetakse rakise teiselt astmelt üks kahelt otsalt mõõtu freesitud toorik, teine toorik asetatakse ümber vabanenud positsioonile, esimesele positsioonile paigaldatakse uus toorik esimese otspinna freesimiseks.



Joon. 190. Kahe tooriku otspindade freesimise skeem horisontaalfreespingis: *1* — tugiprismad; *2* — kinnitusklamber; *3* — töödeldavad toorikud; *4* — tõkestid; *5* — frees

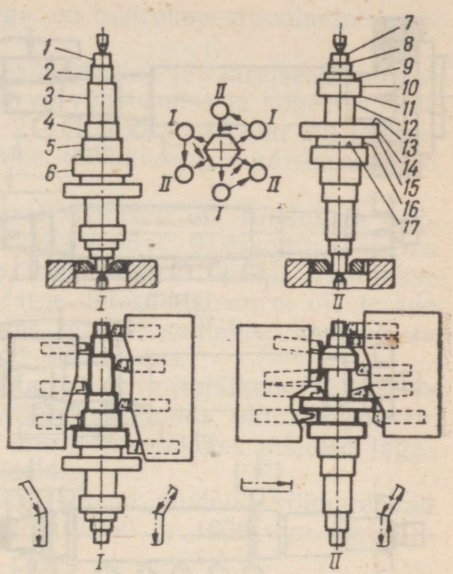
Otspinnad freesitakse prismadele paigaldusega; toorik fikseeritakse pikisuunas lähteastme otspinna spetsiaalse piiraja abil. Kui on võimalik, tuleb lähteks valida tooriku keskel asetseva astme otspind. Sellega tagatakse tooriku mõlema otspinna töötlemiseks ühesugused töötlemisvarud ning võrdsed tsentriavade sügavused juhul, kui otspinnad freesitakse ja tsentreeritakse ühe operatsiooniga. Tsentreerimisoperatsiooni tegemiseks kahepoolses tsentreerimispingis valitakse lähteks samuti astme otspind või üks töödeldud otspindadest. Viimasel juhul võrdub tsentriavade sügavuse vahe freesitud tooriku pikkuse tolerantsiga.

Tsentriavad valmistatakse kas kaitsekoonusega või ilma. Kaitsekoonus kaitseb avade paigalduskoonust juhuslike vigastuste eest. Tsentrikoonuste mõõtmed valitakse vastavalt OCT 3725.

Mass- ja suurseeriatootmises toimub võllide kooriv- ja siluvtreimine mitmespindlilistes vertikaalsetes treimispoolautomaatides 1282, 1A283 jt., ühespindlilistes mitmeterapoolautomaatides 1711, 1721, 1A730, A983 ja A984M (kahte viimast mudelit võib paigutada automaatliinidesse), samuti hüdrokopeertreimispoolautomaatides mud. 1712, 1722 jt.

Seeria- ja väikeseeriatootmises kasutatakse hüdrokopeertreimispoolautomaate, hüdrokopeersuportitega varustatud treipinke ja tavalisi treipinke.

Et mitmespindliliste vertikaalsete poolautomaatide seadistamine on keerukas ja nad on suhteliselt kallid, siis kasutatakse neid ainult mass- ja suurseeriatootmises. Joon. 191 on näidatud astmelise võlli töötlemise meetod kuuespindlilises vertikaalses paralleelse tööga poolautomaadis kahetsüklilise skeemi järgi.



Joon. 191. Astmelise võlli töötlemine kuuespindlilises vertikaalses paralleelse tööga poolautomaadis kahetsüklilise skeemi järgi

Mitmespindlilistes vertikaalsetes järjestikuse tööga mitmeterapoolautomaatides töötlemisega saavutatakse pindade mitme siirdega töötlemise tulemusena 3. täpsusklass, paralleelse tööga poolautomaatides aga ühe siirdega töötlemisel 4. täpsusklass.

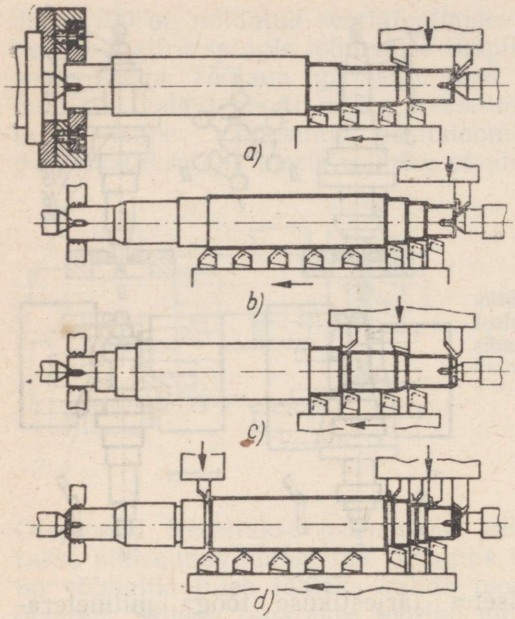
Tehnoloogiliste protsesside kujundamisel tuleb sageli valida, kas töödelda detaili horisontaalses ühespindlilises mitmeterapoolautomaadis või hüdrokopeerpoolautomaadis.

Mitmeteratreimise täpsust mõjutavad terade suhtelise asetuse hälve seadistuses; terade ebaühtlane kulumine, mis on tingitud terade ebaühtlastest töötingimustest, ja terade eriaegsest töösseastumisest tingitud tehnoloogilise süsteemi elementide ebaühtlane nihkumine.

Töötlemisel ühespindlilises mitmeterapoolautomaadis saavutatakse koorivtöötlemisel harilikult 4. ... 5. täpsusklass, siluvtöötlemisel 4. täpsusklass, pikkusmõõtmete osas saavutatakse 4. ... 5. täpsusklass.

Kaelte läbimõõtude täpsust võib silumisel tangentsiaalteradega tõsta kuni 3. täpsusklassini.

Mitmeteratreimise ükskõik milline variant on põhiaja kulu seisukohalt eelistatud, võrreldes tavalisel treipingil töötlemisega. Kõige efektiivsem on mitmeteratreimise operatsioonide kujundamine töödeldava pikkuse jagamise meetodil, kusjuures võlli iga kael töödeldakse ühe läbimiga ja põhiaeg määratakse tera järgi, millel on töödelda kõige pikem võlliosa. Näit. joon. 192 on toodud astmelise



Joon. 192. Tooriku treimise skeem mitmeterapoolautomaadis: *a* — ühe otsa koorivtreimine; *b* — teise otsa koorivtreimine; *c* ja *d* — mõlema võlli otsa siluvtreimine samas järjestuses

võlli töötlemise seadistus mitmeterapoolautomaadis. Mitmeterapoolautomaadis töötlemisel valitakse kõikide pikitreimise terade töölõigud võimalikult ühepikkused. Pikki astmeid võib töödelda üheaegselt mitme teraga.

Mitmeteratreimiseks on kõige sobivam selline tooriku konstruktsioon, kus astmed suurenevad või vähenevad reeglipäraselt ühelt otsalt teisele.

Kui astmelise võlli toorikuks kasutada ümarvaltsmaterjali, siis kujundatakse töötlemise operatsioonid töötlemisvaru jagamise meetodil, sest väiksema läbimõõduga astmetel ei ole võimalik töötlemisvaru ühe läbimiga maha treida ja esimesed terad läbivad seega mitu kõrvutiasetsevat võllikaela. Põhiaeg määratakse selliste kaelte summaarse pikkuse järgi.

Tootlikkusest lähtudes ei ole mitmeteratreimisel alati eeliseid, võrreldes hüdrokopeerpoolautomaatides treimisega.

See on seletatav mitmeterapoolautomaatides treimise ettevalmistus-lõpetus- ja teenindamisaja suure kuluga, samuti ka sellega, et hüdrokopeerpinkides võib võrreldes mitmeterapinkidega kasutada suuremat lõikekiirust.

Lõiketerade arvu seadistuses määrab töödeldavate toorikute jäikus, lõikepingi võimsus ja terahoidjate konstruktsioon. See vähendab mitmeterapoolautomaatide kasutamist mass- ja seeriatootmi-

ses. Võrreldes mitmeteratreimisega, on hüdrokopeerpoolautomaatides treimisel rida eeliseid.

Hüdrokopeerpoolautomaatide seadistamise ja järelseadistamise aeg on seadistavate lõiketerade arvu vähenemise ja kopeerseadme ülesseadmise lihtsustumise arvel 2 . . . 3 korda väiksem kui mitmeterapinkides, moodustades keskmise keerukusega seadistuse puhul 20 . . . 30 min.

Hüdrokopeerpinkide täpsus siluvtöötlemisel on tunduvalt kõrgem (tavaliselt on tagatud tolerants 0,05 . . . 0,06 mm). Järgiva süsteemi tundlikkus kindlustab töödeldava tooriku vastavuse kopeeri mõõtmetele. Süsteemi elastne deformatsioon ei ole terade väikese arvu tõttu suur, kusjuures terade suhtelise asetuse ja terade ebaühtlase kulumise hälbed jäävad ära.

Hüdrokopeertreimine on eriti otstarbekas mittejäikade võllide ja pikkade kaeltega võllide siluvtöötlemiseks, mida pinnakaredusele esitatavate kõrgete nõuete tõttu mitmeterapinkides pikkuse jagamise meetodil ei ole võimalik töödelda.

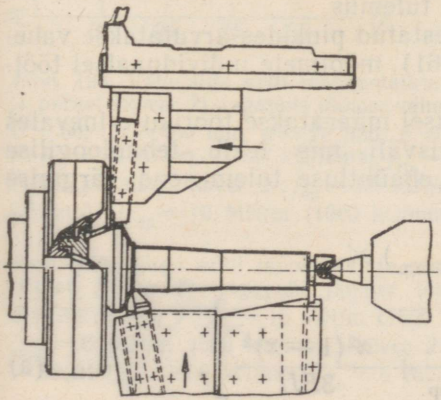
Hüdrokopeerpoolautomaatide väljalastavad mudelid võimaldavad töödelda kuni 325 mm läbimõõduga 1250 ja 1600 mm (eritellimise järgi) pikkusi võlle.

Joon. 193 on toodud hüdrokopeerpoolautomaadi mud. 1722 seadistus vedava hammasratta tooriku töötlemiseks.

Seeriatootmises on otstarbekas kasutada võllide töötlemiseks peale hüdrokopeerpoolautomaatide ka universaalseid hüdrokopeersuporditega varustatud pinke.

Võrreldes tavaliste treipinkidega, võimaldab hüdrokopeersuporditе kasutamine vähendada abiaega 3 . . . 4 korda, tükiaega aga 2,5 . . . 3 korda. Väike ettevalmistus-lõpetusaeg võimaldab kasutada hüdrokopeersupordeid ka 3 . . . 4-toorikuliste partiide puhul.

Individuaaltootmises treitakse võlle tavalistes treipinkides. Suuri



Joon. 193. Vedava hammasratta tooriku töötlemise skeem pingis 1722

võlle tsentreeritakse märkimise järgi. Töötlemiseks kinnitatakse võlli üks ots padrunisse, teist toetatakse lünetiga. Lünetile toetuva pinna töötlemiseks kinnitatakse võlli üks ots padrunisse ja teist toetatakse tagumise tsentriga.

Treimise põhisiirete vahevarude määramine silindriliste otspindade ja astmete töötlemiseks toimub valemite (85) ... (87) järgi, millede spetsiifikaks on ruumilised hälbed ϱ_{i-1}.

Kaelte silindriliste pindade treimisel toorikute paigaldamisega tsentrite vahele arvestatakse ϱ_{i-1} määramisel alljärgnevaid suurusi:

1) ϱ_t — tsentriavade telgede nihkumine lähtekaelte suhtes (tsentreerimisel). Suuruseks ϱ_t võetakse $^1/_4$ suurima lähtekaela läbimõõdu tolerantsist;

2) ϱ_m — töödeldava astme eritelgsus tooriku lähtekaelte suhtes. Suuruseks ϱ_m võetakse $0{,}25\delta_{max}$, kus δ_{max} on suurima astme läbimõõdu tolerants;

3) ϱ_k — tooriku telje kõverus, mis tekitab töödeldava kaela keskmises ristlõikes telje täiendava nihkumise tsentriavade joone suhtes; suurus ϱ_k oleneb tooriku üldisest kõverusest ja töödeldava kaela kaugusest lähima toeni.

Suurused ϱ_t, ϱ_m ja ϱ_k liidetakse ruutjuure valemiga:

$$\varrho_{i-1} = \sqrt{\varrho_t^2 + \varrho_m^2 + \varrho_k^2}.$$

Võlli kaelte treimisel tsentrite vahel loetakse paigaldushälve ε_i võrdseks nulliga. Võllide ja astmete otspindade töötlemisel loetakse ruumiline hälve töötlemise vahevaru valemis samuti võrdseks nulliga, jäigal esitsentril töötlemisel võrdub paigaldushälve aga tsentriava sügavuse tolerantsiga. Ujuva esitsentri puhul $\varepsilon_i = 0$. Vahetöötlemisvaru arvutamisel järgnevateks siluvateks siireteks määratakse suurus ϱ_{i-1} nagu eritelgsuse esialgse suuruse (lähtesuuruse) kopeerimise tulemus.

Toorikute partii töötlemisel häälestatud pinkides arvutatakse vahemõõtmete tolerantsid valemiga (61), mõõtmete individuaalsel töötlemisel aga valemiga (64).

Tsentrite vahel ühe teraga treimisel määratakse tooriku erinevates ristlõigetes läbimõõtude hajumisväli, mis tekib tehnoloogilise süsteemi elementide nihkumiste ebaühtluse tulemusena, järgmise valemiga:

$$2\Delta_y = 2(C_{\max} t^{x_p}_{\text{ant max}} - C_{\min} t^{x_p}_{\text{ant min}}) \times$$

$$\times \left[\frac{\left(1 - \frac{x}{l}\right)^2}{j_{ep}} + \frac{\left(\frac{x}{l}\right)^2}{j_{tp}} + \frac{1}{j_{sup}} + \frac{x^2(1-x)^2}{3EJl} \right], \qquad \text{(a)}$$

kus $C_{max} = C_{y\,max} s^{y_p} HB^{n}_{max}$;

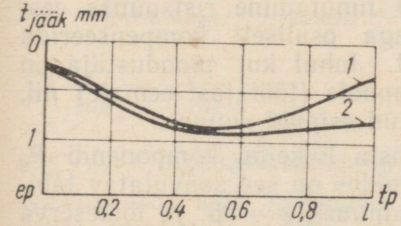
$C_{min} = C_{y\,min} s^{y_p} HB^{n}_{min}$;

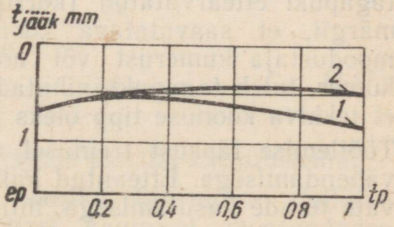
l — tooriku pikkus;
x — vaadeldava ristlõike kaugus esitsentrist;
j_{ep} — esipuki jäikus;
j_{tp} — tagapuki jäikus;
j_{sup} — süsteemi suport-terahoidja-tera-jäikus;
E — tooriku materjali elastsusmoodul;
J — tooriku ristlõike inertsmoment;
s — tera pikiettenihe mm/p;
HB — töödeldava materjali kõvadus Brinelli järgi.

Toodud valem on tuletatud üheteratöötlemise üldise valemi (16) põhjal. Treitava kaela kujuhälve arvutatakse valemiga $\Delta_k = t_{jääk\,max} - t_{jääk\,min}$, kusjuures $t_{jääk\,max}$ ja $t_{jääk\,min}$ määratakse vastavate x väärtuste puhul valemiga (23):

$$t_{jääk} = C_{ant} t^{x_p} \left[\frac{\left(1 - \frac{x}{l}\right)^2}{j_{ep}} + \frac{\left(\frac{x}{l}\right)^2}{j_{tp}} + \frac{1}{j_{sup}} + \frac{x^2 (l-x)^2}{3EJl} \right]. \quad (b)$$

Kui pingi sõlmede jäikus on tooriku jäikusega võrreldes suur, siis on töödeldava võlli moodustaja kumer ja detail tuleb tünni-





Joon. 194. Vähejäiga võlli moodustajate profiili muutuse skeem enne (kõver *1*) ja pärast (kõver *2*) tagapuki jäikuse vähendamist. Katsetingimused: $t_{ant} = 3$ mm, $C = 60$; $L = 400$ mm, $d = 24$ mm, $E = 20 \cdot 10^4$ MN/m² ($2 \cdot 10^4$ kG/mm²); kõver *1*: $j_{ep} = 12$ MN/m (1200 kG/mm); $j_{tp} = 8$ MN/m (800 kG/mm), $j_s = 10$ MN/m (1000 kG/mm); kõver *2*: $j_{ep} = 12$ MN/m (1200 kG/mm), $j_{tp} = 3$ MN/m (300 kG/mm); $j_{sup} = 10$ MN/m (1000 kG/mm)

Joon. 195. Jäiga võlli moodustajate profiili muutuse skeem enne (kõver *1*) ja pärast (kõver *2*) tagapuki jäikuse tõstmist. Katsetingimused: $t_{ant} = 4$ mm; $C = 300$; kõver *1*: $j_{ep} = 15$ MN/m (1500 kG/mm), $j_{tp} = 10$ MN/m (1000 kG/mm), $j_{sup} = 6$ MN/m (600 kG/mm); kõver *2*: $j_{ep} = 15$ MN/m (1500 kG/mm), $j_{tp} = 30$ MN/m (3000 kG/mm), $j_s = 6$ MN/m (600 kG/mm)

kujuline. Täiesti jäiga tooriku töötlemisel on detaili moodustaja nõgus ja töödeldav pind tuleb sadulakujuline.

Valemi (b) analüüs näitab, et kui detaili ja pingi sõlmede jäikused on ühismõõtsed suurused, siis võib töödeldava võlli moodustaja olla sirgjooneline.

Väikese jäikusega võllide töötlemisel võib moodustajat sirgestada (joon. 194) tagapuki jäikuse vähendamisega (mis saavutatakse pinooli väljalükkamisega). Jäikade võllide treimisel on, vastupidi, kasulik tõsta tagapuki jäikust (joon. 195). Kui treitakse peaaegu kogu detaili pikkuselt, siis on otstarbekas tagapuki jäikus võrdsustada esipuki jäikusega. Kahe paigaldusega (tooriku keeramisega) treimisel tuleb tagapuki jäikus muuta esipuki jäikusest suuremaks.

Kasutades viimasel juhul tingimust, et suurused tagapuki kohal $(x = l)$ ja tooriku keskel $\left[x = \left(\frac{l}{2}\right)\right]$ on omavahel võrdsed, võib valemi (b) põhjal arvutada:

$$j_{tp} = \frac{0{,}75}{\frac{0{,}25}{j_{ep}} + \frac{l^2}{48EJ}}. \qquad (146)$$

Tooriku suure jäikuse puhul $j_{tp} = 3j_{ep}$.

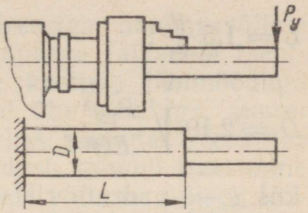
Töödeldava võlli moodustaja sirgestamise teiseks meetodiks on tagapuki ettearvutatud (korrigeeriv) nihutamine ristsuunas eesmärgil, et saavutatava koonilisusega osaliselt kompenseerida moodustaja kumerust või nõgusust. Juhul kui moodustaja on kumer, tuleb tagapukk nihutada tahapoole (töötajast eemale) nii, et tekkiva koonuse tipp oleks suunatud esipuki suunas.

Töötlemise täpsust treimisel võib tõsta lõikejõu komponendi P_y vähendamisega. Etteantud lõikerežiimides on see saavutatav läbivate terade kasutamisega, mille plaaninurk $\varphi = 90°$ ja lõikeserva tipp on väikese raadiusega ümardatud.

Astmeliste võllide treimisel tsentrite vahel on tehnoloogilise süsteemi elementide elastsetest deformatsioonidest tingitud hälvete määramine tunduvalt keerukam. Arvutuse lihtsustamiseks taandatakse astmeline võll siledaks võlliks, mille läbimõõt arvutatakse nii, et astmelise võlli maht võrduks sileda võlli mahuga. Selliste arvutuste viga on $< 10\%$, mida võib lugeda praktiliselt lubatavaks.

Veel keerulisem on määrata töötlemise hälbeid siis, kui võllide töötlemine toimub mitmeteratreimispoolautomaadis.

Taolise ülesande lahendus jäikade võllide kohta on toodud II peatükis.



Joon. 196. Detaili konsoolse kinnituse tegelik ja tinglik skeem

Kui kinnitada toorik konsoolselt padrunisse, on suuruse $2\Delta_y$ väärtus suurim konsooli vabal otsal, s. t. seal, kus süsteemi jäikus on väikseim:

$$2\Delta_y = 2(C_{\max} t^{x_p}_{\text{ant max}} - C_{\min} t^{x_p}_{\text{ant min}}) \times$$

$$\times \left(\frac{1}{j_{\text{trk}}} + \frac{1}{j_{\text{sup}}} \right),$$

kus j_{trk} — süsteemi pingi spindel-padrun-toorik jäikus tema vabal otsal;

j_{sup} — sõlme suport-terahoidja-tera jäikus.

Sileda võlli treitud kaela kujuhälvet võib arvutada valemiga

$$2\Delta_k = 2(t_{\text{jääk max}} - t_{\text{jääk min}}) = 2C_{\max} t^{x_p}_{\text{ant max}} \times$$

$$\times \left(\frac{1}{j_{\text{trk}}} - \frac{1}{j'_{\text{trk}}} \right), \qquad (147)$$

kus j'_{trk} — süsteemi spindel-padrun jäikus tooriku kinnituskohal.

Suurust $2\Delta_y$ võib määrata sileda tooriku igasuguse ristlõike kohta, mis asub tooriku kinnituskohast kaugusel x, asendades liikme $\frac{1}{j_{\text{trk}}}$ liikmetega $\frac{A}{E}$ [9]:

$$A = \frac{x^3}{3J} + \frac{Lx^2}{J'} + \frac{xL^2}{J'} + \frac{L^3}{3J'},$$

kus J — tooriku ristlõike inertsmoment;

L — kujutletava konsooltala pikkus, mis tinglikult asendab sõlme spindel-padrun (joon. 196);

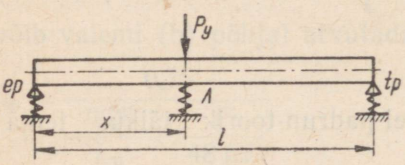
J' — selle tala läbimõõduga D ristlõike inertsmoment;

E — tooriku materjali elastsusmoodul.

$$L = 1{,}5\frac{y}{\Theta};$$

$$D = 2{,}19\sqrt[4]{\frac{P_y y^2}{E\Theta^2}},$$

kus y — padruni ristsuunaline läbipaine radiaaljõu P_y rakendamisel tooriku kinnituskohal ja Θ — vaadeldava ristlõike eksperimentaalselt määratav pöördenurk sama jõu P_y toimel.
Liikuva lüneti abil sileda võlli treimisel on tehnoloogilise süsteemi elastseteks elementideks esi- ja tagapukk, lünetipukk, suport ja töödeldav toorik (joon. 197). Tera liikumisel piki moodustajat toimub ülalnimetatud elementide elastsete nihkumiste ümberjaotus. Nihkumiste arvutuse lihtsustamiseks oletatakse, et jõu P_y tasapind ühtib lünetipuki tasapinnaga.



Joon. 197. Tehnoloogilise süsteemi elastsete nihete arvutamise skeem võlli töötlemisel liikuva lünetiga

Elastse süsteemi nihkumiste arvutus toimub samuti nagu tooriku tuginemisel kahele tsentrile, võttes arvesse lüneti jäikust j_e.
Tera meelevaldsel seisul piki toorikut võib kirjutada:

$$2\Delta_y = 2(C_{\max} t^{x_p}_{\text{ant max}} - C_{\min} t^{x_p}_{\text{ant min}}) \times$$

$$\times \left(\frac{1}{j_{sup}} + \frac{1}{j_e + \frac{1}{\frac{\left(1-\frac{x}{l}\right)^2}{j_{tp}} + \frac{\left(\frac{x}{l}\right)^2}{j_{ep}} + \frac{x^2(l-x)^2}{3EJl}}} \right) \quad (148)$$

Kui lugeda lünetipuki jäikus võrdseks nulliga, siis saame valemi (a) töötlemiseks kahel tsentril ilma lünetita.
Liistusooni freesitakse olenevalt soone konstruktsioonist liistusoonte freespinkides (692A) otsfreesiga või horisontaalfreespinkides ketasfreesiga. Võll paigaldatakse tsentrite vahele või kaeltel prismadele, mille asetuse paralleelsus ettenihke suunaga on kontrollitud.
Masstootmises tehakse seda operatsiooni sageli mitmekohalises rakises. Seejuures kinnitatakse sõrmfreesid mitmespindlilisesse freespeasse, ketasfreesid aga ühisele tornile.

Hammasliidete pinnad töödeldakse tigufreesiga hammasvõllide freespinkides 5350, 5603 ja 5618A paigaldusega jäikadele tsentritele. Tootlikkuse seisukohalt on võllide kaeltele läbimõõduga 60...80 mm otstarbekas freesida hambad ühe läbimiga, suuremate läbimõõtude puhul on aga otstarbekas jaotada freesimine koorivaks ja siluvaks. Olenemata läbimõõdust, toimub freesimine kahe operatsiooniga juhul, kui on ette nähtud võlle termiliselt töödelda kõvaduse väikese suurenemisega (HRC ~ 40). Sel juhul toimub koorivtöötlemine enne termilist töötlemist. Termilisel töötlemisel tekkinud ruumilised hälbed kõrvaldatakse siluvtöötlemisega, kusjuures nõutav täpsus ja pinnasiledus tagatakse ilma lihvimiseta.

Nende operatsioonide töötootlikkust saab tõsta, kui kasutada mitmespindlilisi hammasvõllide freespinke ja mitmetööriistalisi hammasvõllide höövel- või kammlõikepinke.

Perspektiivne on hammaste rullimine, mis on suure tootlikkusega ja tõstab materjali füüsikalis-mehaanikalisi omadusi.

Avad puuritakse ühe- või mitmespindlilistes puurpinkides. Pingi tüüp ja paigalduse skeem oleneb võlli konstruktsioonist ja avade asetusest.

Karastatavad võllikaelad keermetatakse enne termilist töötlemist, mittekarastatavad kaelad aga pärast termilist töötlemist. See vähendab keerme vigastamise ohtu toorikute transportimisel.

Keermetamise meetod oleneb nõutavast täpsusklassist. Mass- ja suurseeriatootmises kasutatakse 2. klassi keermega võllide tootmiseks keermetreimispoolautomaate 1920 ja 1921. Keermetamine toimub kõvasulamtööriista abil automaatse tsükliga. Seda tüüpi tootmises kasutatakse 3. ja 4. klassi keerme saamiseks keermerullimispinke (5A932 ja 5A935) ja keermefreespinke (5M5Б62).

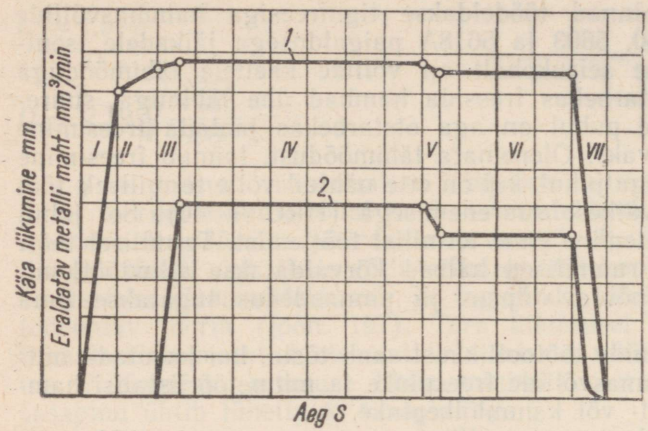
Seeria- ja väikeseeriatootmises saadakse 2. klassi keere universaalsetes treipinkides hariliku või lendteraga lõigates. 3. ja 4. klassi täpsusega keeret lõigatakse universaalsetes treipinkides, üksikutel juhtudel aga ka poltide keermelõikepinkides.

Võllide välispindade keermetamise lihtsustamiseks tuleb ette näha lõikeinstrumendi väljumissooned või keermeväljajooksud.

Võllide termilise töötlemise põhiliseks mooduseks on kaelte pindkarastamine kuumutusega kõrgsagedusvooluinduktorites. Harvemini kasutatakse kaelte tsementiitimist järgneva karastusega või võlli läbikarastust.

Võllide kaelad lihvitakse tavaliselt kooriva ja siluva operatsiooniga. Võlle lihvitakse ümarlihvpinkides pikiettenihkemeetodil (läbiv lihvimine) või ristiettenihkemeetodil tooriku paigaldamisega tsentritele. Astmelisi võlle lihvitakse ka tsentriteta lihvpinkides.

Ristiettenihkega lihvimise eeliseks on kõrge tootlikkus, eriti mitme



Joon. 198. Ristiettenihkega lihvimise automaatse töötlemise tsükkel: *1* — käia paigutuste sõltuvus ajast; *2* — eraldatava metalli mahu sõltuvus ajast

käiaga töötlemisel, kui lihvitakse üheaegselt mitut võllikaela. Laia kujukäiaga ja ristiettenihkega lihvimist kasutatakse mitme ligistikku asuva pinna üheaegseks töötlemiseks. Käia laius ei ületa tavaliselt 250 mm.

Võlli kaelte töötlemine ristiettenihkega lihvimisel toimub sageli automaatse tsükliga.

Tootlikkuse, täpsuse ja pinnakareduse seisukohalt kõige ratsionaalsem lihvimistsükkel on kujutatud joon. 198, kus I etapp on käia kiire lähendamine, II etapp — käia aeglane lähendamine kuni kokkupuuteni detailiga, III etapp — sisselõikumine, IV etapp — stabiliseerunud lõikeolukord, V etapp — reverseerimine, VI etapp — siluvlihvimine, VII etapp — käia eemaldamine.

Reverseerimisetapi lülitamine lihvimistsüklisse võimaldab lühendada töötlemise aega kiire ülemineku arvel stabiliseerunud lõikeolukorras tekkivatelt tehnoloogilise süsteemi suurtelt deformatsioonidelt siluvlihvimise väikestele elastsetele deformatsioonidele.

Mitme käiaga lihvimisel mõjutavad töötlemise täpsust käiade struktuuri ebaühtlus, töötlemisvarude kõikumine ja tehnoloogilise süsteemi elastsed deformatsioonid.

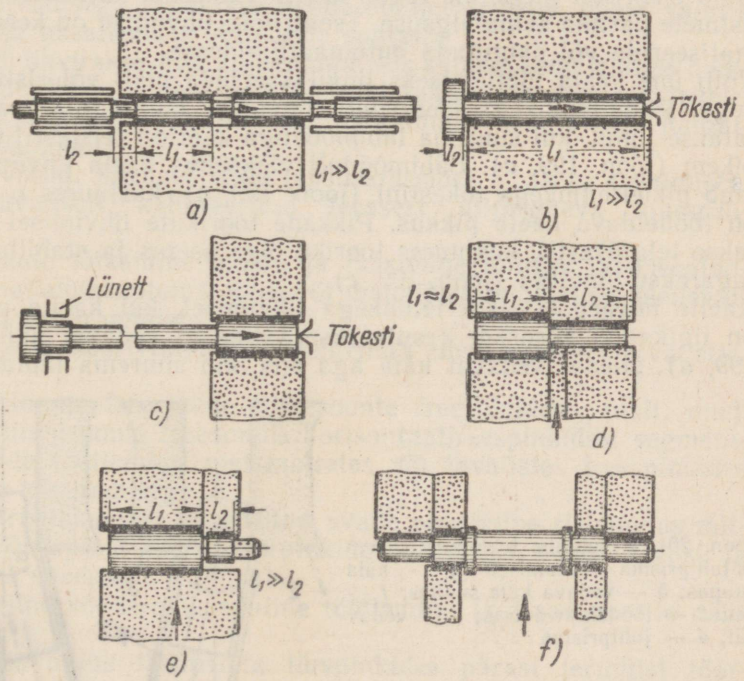
Kael ja otspind lihvitakse üheaegselt otspindade lihvpinkidel 3T161 jt. käia asetamisega kaldu. Jäikadel tsentritel töötlemiseks kasutatakse lihvpuki ristipaigutusega pinke, sest tsentriavade sügavuse kõikumise arvel on võimalik tooriku telgsuunaline nihkumine. Nurga all ümberpaigutatava lihvpukiga pinkides, kui

kasutatakse ujuvat esitsentrit, on võimalik saavutada lähteotspinnast mõõdetavate mõõtmete suuremat täpsust. Kaelu ja otspindu võib töödelda ka harilikus ümarlihvpingis, kui kasutada seejuures otspinnalise õõnsusega käia.

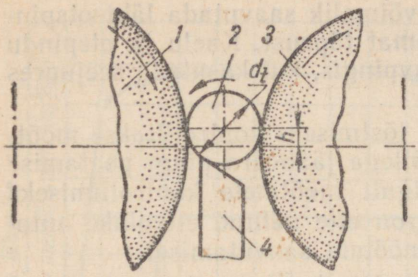
Lihvimisoperatsioonide tootlikkuse tõstmiseks kontrollitakse mõõtmeid töötlemisprotsessi käigus, millega jääb ära pingi peatamise vajadus mõõtmiseks. Paljude käigult mõõtmete kontrollimiseks määratud rakiste konstruktsioonis on ette nähtud ettenihke automaatne väljalülitamine vajaliku mõõtme saavutamisel.

Võllikaelte kuju täpsus pärast lihvimist oleneb tsentriavade seisukorrast. Seetõttu kasutatakse sageli enne siluvlihvimist tsentriavade parandamise operatsiooni koonilise käia või sovelduri abil.

Lihvimiseks tuleb detaili pinnale teha käia väljumissooned. Töötlemise kergendamiseks eraldatakse sama nimiläbimõõduga, kuid erinevate istudega võlliosad soonega. Kui tugevuse seisukohast



Joon. 199. Astmeliste võllide tsentriteta lihvimise seadistuste skeemid



Joon. 200. Töödeldava tooriku ja tuginoa paigaldamise skeem: *1* — käi; *2* — töödeldav toorik; *3* — vedav käi; *4* — tuginuga

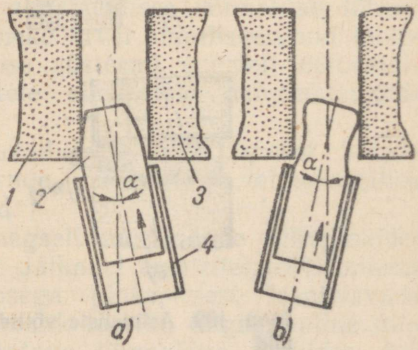
lähtudes ei saa sooni kasutada, siis tuleb antud istu pikkusele anda suur tolerants (3...5 mm).

Tsentriteta lihvimine toimub pikiettenihkega (läbiv lihvimine) või ristiettenihkega (sisselõikumine). Tsentriteta lihvimisel on tehnoloogilise süsteemi jäikus 1,5...2 korda kõrgem kui ümarlihvimisel. Järelikult on tsentriteta lihvimisel lõikerežiime võimalik suurendada 1,5...2 korda ja ühtlasi lihtsustada vähejäikade võllide töötlemist.

Kuid tsentritel lihvimine tagab kaelte väiksema kujuhälbe ja võlli astmete parima samatelgsuse. Tsentriteta lihvpinke on kerge automatiseerida või paigutada automaatliinidesse.

Võlli ühe kaela töötlemiseks lihvitakse teda piki- või ristiettenihkega. Pikiettenihkega tsentriteta lihvimist kui tootlikumat kasutatakse juhul, kui suurima läbimõõduga kael on teistest tunduvalt pikem (joon. 199, *a*). Läbimõõdult väikseima kaela lihvimine toimub pikiettenihkega tõkestini (joon. 199, *b*), kusjuures $l_1 \gg l_2$; l_1 on töödeldava kaela pikkus. Pikkade toorikute lihvimisel kasutatakse telgtõkestit, kusjuures tooriku õige asetus ja stabiilsus noal tagatakse lünetiga (joon. 199, *c*).

Kaelte üheaegsel ristiettenihkega lihvimisel, kui kaelte pikkused on ligikaudu võrdsed, kasutatakse astmelist vedavat käia (joon. 199, *d*), siledat vedavat käia aga siis, kui suurema läbimõõduga



Joon. 201. Kujuhälbe tekkimise skeem esijuhtprisma keeramisel: *a* — käia suunas; *b* — vedava käia suunas; *1* — käi; *2* — töödeldav toorik; *3* — vedav käi; *4* — juhtprisma

kael on märgatavalt pikem (joon. 199, *e*). Analoogiliselt valitakse tuginoa kuju. Mitmekäialistes seadistustes (joon. 199, *f*) monteeritakse mõlemad käiad ühele spindlile. Tuginoad tehakse väljalõikega.

Tuginoa kõrgus peab olema reguleeritav, millega saavutatakse tooriku tsentri mõõtme *h* võrra erinev kõrgus käiade tsentrijoone suhtes (joon. 200). Mõõde *h* võrdub ligikaudu (0,35 ... 0,4) d_t, kuid mitte üle 14 mm, kui d_t on töödeldava tooriku läbimõõt mm.

Mõõtme *h* liiga suur või väike väärtus kutsub esile ristsuunalise kujuhälbe — kandilisuse.

Pingi seadistamisel asetatakse juhtliistud või prismad paralleelselt käia lõikepinna moodustajaga. Nende kõrvalekalle horisontaaltasapinnas lihv- või veokäia suunas tekitab töötlemisel pikisuunalise kujuhälbe, s. o. tünnilisuse (joon. 201, *a*) või sadulsuse (joon. 201, *b*).

Hammasliite hambaid lihvitakse sel juhul, kui võlli tsentreerimine puksi suhtes toimub hammaste põhjade ja külgpindadega. Hammaste lihvimisega tagatakse nende sümmeetrilisus, põhja vajalik raadius ja paralleelsus võlli telje suhtes.

Hambaid lihvitakse kas kujukäiaga või käiade komplektiga hammasvõllide lihvpinkides. Võll paigaldatakse jäikadele tsentritele. Võlli nurkasendi kontrollimiseks paigaldusel kasutatakse paigaldamise šablooni.

Siledad võllid. Siledaid võlle täpsusklassides 3, 3a ja 4 valmistatakse tavaliselt kalibreeritud terasest alljärgneva marsruudiga.

1. Toorikute lõikamine mõõtu ja faasimine mitme- ja ühespindlilistes mahalõikeautomaatides või mahalõiketreipinkides olenevalt etteantud programmist.
2. Toorikute koorivlihvimine tsentriteta lihvpinkides läbiva etteanihkega.
3. Liistusoonte freesimine liistusoonte freespinkides (näit. mud. 692 A); liistusoonte freesimine horisontaalfreespinkides; segmentliistusoonte töötlemine spetsiaalsetes või tavalistes freespinkides erirakiste kasutamisega.
4. Konstruktsiooniga ettenähtud avade puurimine ristsuunas mitme- või ühespindlilistes puurpinkides olenevalt avade arvust ja väljalaske suurusest.
5. Termiline või termokeemiline töötlemine (kui see on ette nähtud).
6. Siluvlihvimine tsentriteta lihvpinkides pärast termilist töötlemist.

Pikki siledaid kuumvaltsmaterjalist võlle treitakse eelnevalt tsentriteta treipinkides (näit. mud. 9330A), seejärel lihvitakse tsentri-

teta lihvpinkides või rullitakse poleerpeaga varustatud õgvenduspoleerpinkides. Neidsamu pinke ilma poleerpeadeta kasutatakse ka toorvarraste õgvendamiseks enne treimist. Toorvardaid ja töödeldud võlle võib õgvendada ka spetsiaalsetes õgvendamispressides.

Tsentraalse avaga võllid. Tsentraalse avaga võllide toorikud stantsitakse täismaterjalist (ilma avata), avad tehakse sellistesse võllidesse sügavpuurimise teel. Sügavpuurimine toimub pärast võlli välispindade koorivat tsentritel treimist ja kaelte ettevalmistamist lüneti alla ning padrunisse kinnitamiseks.

Kui ava pikkus on väiksem ava viiekordsest läbimõõdust $l \leqslant 5d$, puuritakse avad spiraalpuuridega, kui aga $l > 5d$, puuritakse avad läbimõõdust olenevalt ühe- või kahepoolselt lõikavate sügavpuuridega.

Suure läbimõõduga avade ($d > 80$ mm) töötlemiseks kasutatakse rõngaspuure. Nii puurimine kui ka tsentraalse ava järgnev töötlemine toimub tavaliselt sügavpuurimispinkides. Tsentraalse ava siluvtöötlemiseks kasutatakse avardeid ja hõõritsaid või sisetreipäid olenevalt ava läbimõõdust ja esitatavatest nõuetest. Avadest lähtumisel kasutatakse välispindade järgneval töötlemisel tsentriavadega korke või risttükke. Et saavutada suuremat täpsust välispindade kontsentrilisuses avapindade suhtes, on soovitatav kõik järgnevad operatsioonid teha korkide vahetamiseta.

Astmeliste avade töötlemisel esineb mõningaid raskusi. Sel juhul kasutatakse sisetreimistorne (kui $l \leqslant 5d$) või puurvõlle (kui $l > 5d$), mis on varustatud terade komplektiga astmete paralleelseks töötlemiseks. Lõplikult töödeldud avasid kasutatakse lähtepindadena välispindade lihvimisel.

Rasked võllid. Rasketeks võllideks loetakse tinglikult võlle, mis on suurema läbimõõduga kui 200 mm ja raskemad kui 1 tonn. Raskete võllide konstruktiivsed liigid ja nende valmistamise tehnilised tingimused on samad mis tavalistel võllidel. Enamasti on rasketel võllidel tsentraalsed avad, mille põhiülesandeks on: a) vähendada kaalu (kui tsentraalse ava läbimõõt võrdub poole välispinna läbimõõduga, siis kaal väheneb umbes 25% võrra, kusjuures vastupanumoment väheneb ainult 6...7%; b) võimaldada proovide võtmist materjali kvaliteedi määramiseks, millel raskete võllide puhul on oluline tähtsus; c) võimaldada masina juhtimise, reguleerimise ja teiste elementide paigutamist võlli sisse.

Raskete võllide töötlemisel tekkivatel tehnoloogilistel probleemidel on rida iseärasusi. Need probleemid on seotud vajadusega täita mõningaid nõudeid, mis on tingitud äärikute ja tsentreerivate astmete suurtest läbimõõtudest ja võllide pikkusest.

Raskete võllide toorikud saadakse vabasepistamisega pressidel ja haamritel, kusjuures tooriku lähtematerjaliks on valuplokk. Sise-

pingete kaotamiseks lõõmutatakse ja normaliseeritakse toorikuid pärast sepistamist.
Viimasel ajal valmistatakse õõnsate äärikvõllide toorikuid ettevalmistatud elementidest elektri-räbukeevitusega. See variant annab materjali tunduvat kokkuhoidu ja vähendab märgatavalt järgneva mehaanilise töötlemise töömahukust.
Pärast termilist töötlemist lõigatakse toorikute otstelt proovid mehaanilisteks katseteks.
Raskete võllide mehaanilisel töötlemisel on alljärgnevad iseärasused. Kõigepealt toimub tooriku märkimine tema kõlblikkuse selgitamiseks, tsentriavade puurimiseks ja tooriku rihtimiseks pingile paigaldamisel.
Tsentreerimine toimub statsionaarses või kantavas horisontaalpuurpingis (sammaspuurpingis) tooriku asetamisega prismadele.
Tooriku treimine toimub mitmekordse pingisse paigaldusega. Esimesel paigaldusel kinnitatakse tooriku üks ots padrunisse või plaanseibile, teine, tsentriavaga ots toetatakse tagapuki tsentrile. Seejuures toimub tooriku paigalduse rihtimine märkjoonte järgi märknõelaga. Selle paigaldusega toimub ka kaelte töötlemine lüneti alla.
Koorival ja sellele järgneval töötlemisel kinnitatakse võll plaanseibis või padrunis ja toetatakse lünetiga. Tsentritel töötlemist ei kasutata tooriku suurest kaalust ja treimisoperatsiooni pikast kestusest tekkiva tsentriavade kulumise tõttu.
Igal uuel paigaldusel kontrollitakse tooriku viskumist indikaatoriga. Selleks töödeldakse sageli spetsiaalsed kontrollimisvööd. Viskumine kõrvaldatakse padrunipakkide ümberpaigutamisega.
Õõnsate võllide sügavpuurimine toimub pärast välispindade koorivtöötlemist, kuna enne sügavpuurimist toorikut pingile paigaldades peavad rihtimise lähted olema ette valmistatud.
Töötlemisvaru arvutamisel välispindade järgnevaks töötlemiseks lähtega avast tuleb arvesse võtta ava telje külisjooksu sügavpuurimisel.
Paigaldamisel neljapakilisse padrunisse tagatsentril toetamisega kontrollitakse tooriku viskumist padruni juures.
Võllide kaelte (läbimõõduga kuni 300 . . . 350 mm) lõplik töötlemine teise täpsusklassi järgi toimub lihvpinkides. Lihvimisega töödeldakse ka 3. täpsusklassi järgi valmistatud võllide suure karastuskõvadusega pindasid. Suuremate võllide kaelte viimistlusoperatsioonid tehakse vetruva teraga, mis tagab 6. . . . 7. klassi pinnakareduse, ja ka tihendava rulliga.
Automatiseeritud tootmises toodetakse võlle spetsiaalsetes ümberseadistatavates automaatliinides. Liine koostatakse universaalsetest ja spetsiaalsetest pinkidest, mis ühendatakse omavahel kon-

veieritega ning varustatakse laadimisseadmetega ja aktiivse kontrolli ning blokeerimise vahenditega.

Võllide automaatliinid koosnevad ühest või mitmest vahepealsete kogujatega jaoskondadest. Selliseid liine on kodu- ja välismaistes tehastes. Näiteks ЭНИМС-i rootori võllide liin, millel toimub võlli täielik mehaaniline töötlemine ja rootorisse pressimine, võlliga rootori lõplik treimine ja koostatud sõlme balansseerimine. Liin koosneb kahest jaoskonnast ja on ümberseadistatav. Liinis võib töödelda võllide kaheksat tüüpsuurust pikkusega 344 ... 523 mm. Liini väljalasketakt on 1 min. Esimeses jaoskonnas toimub võlli otste freesimine, tsentreerimine ja treimine kahes mitmeteratreipingis, eelnev tsentriteta lihvimine, rihvelduse rullimine, lõplik lihvimine tsentriteta lihvpingis ja liistusoonte freesimine. Liini teises jaoskonnas toimub hüdraulilises pressis võlli pressimine rootorisse, koostatud rootor-võll sõlme treimine ja balansseerimine. Selliseid liine kasutatakse edukalt meie maa paljudes tehastes [1].

Liine kasutatakse ka autode ГАЗ-53 ja ЗИЛ-130 võllide, vagunitelgede, kolvisõrmede ja teiste detailide töötlemiseks. Kolvisõrmede töötlemise automaatliin koosneb põhiliselt tsentriteta lihvpinkidest. Sel juhul ei tekita detailide transport ja etteandmine töötlemistsooni raskusi. Selleks kasutatakse eelnevatel lihvimisoperatsioonidel lihtsamaid rullkonveiereid tooriku etteandmisega pikiettenihke jõu mõjul. Lõplikel lihvimisoperatsioonidel kasutatakse toorikute transportimiseks kettkonveiereid. Tsentritele paigaldamisel oleneb toorikute töötlemistsooni etteandmise meetod transporditrassist, millel võib olla pinkide tsentrijoonte suhtes erinev asetus. Transporditrassist olenevalt määratakse manipulaatorite liik ja konstruktsioon.

Tehnilise kontrolli operatsioonidega tuleb kontrollida läbimõõte, astmete pikkusi, hammaste mõõtmeid ja keermeid võlli kaeltel. Kontrollitakse harkpiirkaliibrite, šabloonide, hammasvõllide kaliiberrõngaste ja keermekaliibritega.

Kaelte viskumise kontrollimiseks asetatakse võll lähtekaeltega prismadele, seejärel asetatakse indikaatori otsik kontrollitavale kaelale. Kui võlli käsitsi pöörata, määrab indikaatori maksimaalse ja minimaalse näidu vahe kontrollitava kaela viskumise suuruse, s. t. kahekordse ekstsentrilisuse. Läbimõõtude ja kaelte viskumise kontrollimiseks lähtekaelte suhtes kasutatakse ka mitmemõõdulisi indikaatoritega kontrollrakiseid. Seejuures seadistatakse rakiste indikaatorid etaloni järgi ja kinnitatakse kindlas asendis.

Hammaste (eendite, süviste ja külgpindade) paralleelsust võlli telje suhtes kontrollitakse indikaatoriga mõõtmise teel kahes äärmises ristlõikes. Selleks asetatakse võll prismadele või tsentritele.

[1] Niisugune liin on ka tehases «Volta» — *Tõlk.*

Sama paigaldust võib kasutada ka hammasvõllide hammaste ja hambavahede viskumise kontrollimiseks: indikaatoriga mõõdetakse diametraalselt vastastikku asuvaid hambaid ja hambavahesid.
Tehniliseks kontrolliks rakendatakse ka automaatseadmeid. Näiteks tehases M3MA kasutatakse kolvisõrmede (auto «Moskvitš») sorteerimise automaati, mis võimaldab sõrmede jaotust mõõtmegruppideks vahega 2,5 μm.
Raskete võllide tehniline kontrollimine toimub põhiliselt pinkides. Näiteks kaelte geomeetrilise kuju täpsust kontrollitakse indikaatoriga treipingis, kaelte läbimõõtu kontrollitakse mikromeetriliste otsikutega harkkaliibritega, kõrvuti asetsevate võllikaelte kontsentrilisust kontrollitakse spetsiaalse pööratava indikaatorrakisega; äärikute tasapinnalisust kontrollitakse värviga täpselt kaabitsetud joonlaua abil. Koonuse moodustaja sirgjoonelisust kontrollitakse lekaaljoonlauaga valguspilumeetodil või lehtkaliibriga.

2. KORPUSED

Korpuste ülesanded ja nende konstruktiivsed põhiliigid. Korpused on määratud masinate mehhanismide sissemonteerimiseks.
Korpustele on iseloomulikud täpselt töödeldud, omavahel ja tasapindade suhtes koordineeritud avad. Korpuste töötlemise üldistest tehnoloogilistest meetoditest lähtudes võib mitmesuguste korpuste hulgast tinglikult eraldada kahte põhilist gruppi: prismaatilised ja äärikkorpused.
Prismaatilistele korpustele on iseloomulikud ulatuslikud välised tasapinnad ja põhiavade paiknemine mitmel teljel.
Äärikkorpustel on tasapindadeks tavaliselt põhiavade otspinnad eendite ja süvistega, mis eeldavad nende töötlemist treimise teel.
Lähtudes koostamise tingimustest, valmistatakse mõlemat tüüpi korpusi põhiavade läbimõõdulises tasapinnas lahutatavatena (näit. reduktorite korpused) või äravõetava kaanega, kuhu monteeritakse võlli teine laager (näit. jaotuskarpide karterid).
Tehnoloogilised ülesanded korpuste valmistamisel. Korpuste töötlemisel peab olema ettenähtud piirides tagatud põhiavade telgede omavaheline paralleelsus või paralleelsus tasapindade suhtes ja ristseis, võllide tugiavade samatelgsus, kindlaksmääratud telgedevahed, avade geomeetrilise kuju õigsus, otspindade ristseis avade telgede suhtes, tasapindade sirgjoonelisus.
Korpuste valmistamise tehnilised tingimused olenevad nendes koostatavate mehhanismide täpsusest.
Põhiavad laagrite jaoks töödeldakse tavaliselt 2. täpsusklassi ja 6. ... 8. pinnasilediusklassi järgi, harvemini 1. täpsusklassi ja 8. ... 11. pinnasilediusklassi järgi.

Avade telgede eritelgsust lubatakse väiksema ava poole tolerantsi piirides, avade koonilisus ja ovaalsus peab olema väiksem kui 0,5 ... 0,7 vastava ava tolerantsist.

Silindriliste hammasülekannete telgedevahedele 50 ... 800 mm määratakse tolerantsid ГОСТ 1643-56 järgi ±25 kuni ±280 μm olenevalt külglõtku normidest С, Д, Х ja Ш.

Koonushammasrataste telgedevahelise nurga tolerants ГОСТ 1758-56 järgi samade külglõtkunormide puhul peab olema ±18 kuni ±210 μm, kui jaotuskoonuse moodustaja pikkus on 50 ... 800 mm.

Tiguülekannete telgedevahede tolerantsid ГОСТ 3675-56 järgi 6., 8. ja 9. täpsusastmega hambumisel peavad olema ±30 kuni ±210 μm, kui telgede vahed on 40 ... 630 mm.

Avade telgede mitteparalleelsus on lubatud 0,02 ... 0,05 mm 100 mm pikkuse kohta.

Liitetasapinnad töödeldakse 5. ... 7. pinnasilediusklassi järgi, lubatav sirjoonelisuse hälve on 0,05 ... 0,20 mm kogu pikkuse kohta.

Nõuded hõõrdetasapindadele on kõrgemad: pinnakaredus peab olema 7. ... 9. klassi järgi, tasapinnalisuse hälve kuni 0,05 mm kogu pikkuse kohta.

Otspindade ja avade telgede ristseisu lubatav hälve on 0,01 ... 0,1 mm raadiuse 100 mm kohta. Need pinnad töödeldakse 5. ... 6. pinnasilediusklassi järgi.

Poolitatavate korpuste avade telgede ja lahutuspindade mitteühtimine võib olla ±0,2 mm, üle 300 mm läbimõõduga avadel ±0,3 mm.

Toorikute liigid ja materjalid. Korpuste toorikud valatakse hall- või modifitseeritud malmist, süsinikterasest, alumiiniumisulamitest või keevitatakse terasest.

Malmtoorikud valmistatakse I ... III täpsusklassi järgi (ГОСТ 1855-55), masstootmises I ... II täpsusklassi järgi. Terastoorikute tolerantsid määratakse ГОСТ 2009-55 järgi.

Väljasulatatavate mudelitega ja koorikvormidesse valamise meetodid on kõige täpsemad, kuid ka kõige kallimad. Neid kasutatakse keerukate valandite tootmisel, mille täpsusele ja töötlemata pindade karedusele on ranged nõuded. Näiteks tsentrifugaalpumpade keerulise kujuga õõnsused moodustatakse mitmest sektsioonist koosneva väljasulatatava mudeli järgi.

Alumiiniumisulamitest valandid valatakse tavaliselt kokillidesse, tarbe korral kasutatakse liivakärne.

Valades keerulisi alumiiniumist korpusi (näit. silindriplokke) survevalu menetlusega, saavutatakse mõõtmete 5. klassi täpsus ГОСТ 1015-49 ja ГОСТ 1025-48 järgi. Kõik avad seejuures valatakse ja neid tuleb ainult viimistlevalt töödelda.

Mõnikord on otstarbekas asendada keerulised alumiiniumivalandid

üksikute survevalu teel saadud sektsioonidega, mis joodetakse hiljem kokku.

Keevitatud korpusi kasutatakse valatute asemel neil juhtudel, kui on vaja kaalu vähendada, sest keevitatud korpuste seinad võivad olla 30...40% valatutest õhemad.

Korpuse tooriku valik toimub tehnilis-majandusliku arvutuse alusel.

Ebaühtlase jahtumise ja kahanemise tagajärjel tekivad korpuste valandites sisepinged, mis kutsuvad esile ruumilisi deformatsioone (kaardumisi). Sisepingete kaotamise meetodeid valatud ja keevitatud toorikutes vt. II pt.

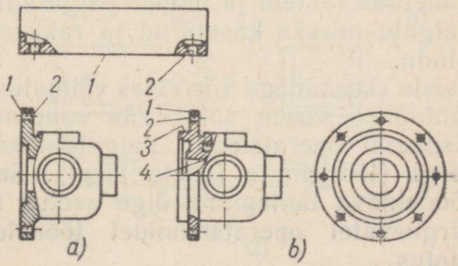
Pärast toorikute puhastamist haavliheite- või liivaheiteaparaatides katsetatakse nende tihedust või hermeetilisust. Surve all töötavaid korpusi katsetatakse hüdrauliliselt teist korda pärast põhipindade töötlemist.

Tehnoloogilise protsessi edasiseks normaalseks kulgemiseks peab korpuste toorikute juures olema tagatud mõõtmete tolerantsidest kinnipidamine, töötlemisvarude olemasolu, materjali mehaanikaliste omaduste vastavus nõuetele ja pinnadefektide puudumine, eriti lähetel. Sellepärast on tarvis erilist tähelepanu pöörata toorikute kontrollimisele.

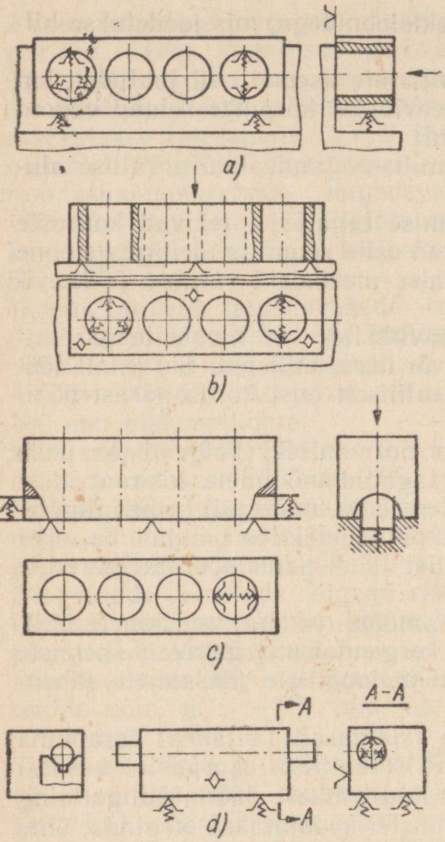
Korpuste lähete valik. Paigaldus-, mõõte- ja koostamislähete ühtimine ning valitud lähte säilivus kergendab märgatavalt korpuste töötlemisel tekkivate keeruliste tehnoloogiliste ülesannete lahendamist.

Korpuste töötlemisel kasutatakse laialdaselt lähtamist tasapinna ja kahe ava järgi (joon. 202). Prismaatilistel korpustel kasutatakse tasapinda ja kahte hõõritsetud väikese läbimõõduga ning 2. klassi täpsusega ava. Äärikkorpustel kasutatakse otspinda, ühte suure läbimõõduga ava (ääriku põhiava või otspinna süvist) ja teist (äärikul paiknevat) väikese läbimõõduga ava.

Väikeste või ebasobivalt asetsevate tasapindadega korpusi tööldakse vaherakistes, kusjuures kasutatakse teisi töötlemata või kunstlikult loodud pindu.



Joon. 202. Korpuste lähtepinnad: *a* — pinnad *1* ja *2*; *b* — pinnad *1*, *2* ja *3* või *1*, *2* ja *4*



Joon. 203. Korpuste lähtamise skeem esimesel operatsioonil töötlemata avade ja tasapinna järgi

Mõningatel juhtudel kasutatakse mitteautomatiseeritud tootmises ka teisi lähtamisvariante. Näiteks pingiehituses lähtatakse korpusi sageli juhikute tasapindadelt; raskemasinaehituses kasutatakse läheteks kuut kolmes koordinaattasapinnas asuvat punkti.

Sellise lähete valimise skeemi põhiliseks puuduseks on vajadus vahetada lähteid ja ümber paigutada toorikut, et töödelda tooriku paigaldamiseks kasutatud ja rakiste kinnituselementidega kaetud pindu.

Teiste skeemidega võrreldes võimaldab tasapinna ja kahe ava järgi lähtamise skeem saavutada suuremat töötlemistäpsust.

Esimesel operatsioonil paigaldatakse toorik töötlemata pindade järgi (töötlemata lähete järgi). Selle operatsiooniga tagatakse töödeldava lähtepinna õige asetus töötlemata pindade suhtes ja järgnevatel operatsioonidel töödeldavate töötlemisvarude õige jaotus.

Kui korpusel on mitu põhiava ja avade mõõtmed on juba toorikul küllaldaselt suured, on sellist korpust kõige otstarbekam lähtata kahe paralleelteljega ava ja nendega ristuva tasapinna järgi (joon. 203). Sellise lähtamisskeemi kasutamisel on tooriku pinnad hästi töödeldavad, rakise konstruktsioon on lihtne ja kinnitus kindel.

Vertikaalse tasapinna järgi paigaldatakse (joon. 203, *a*) suhteliselt väikeste korpuste töötlemisel. Suuremad ja raskemad korpused paigaldatakse horisontaalsele tasapinnale (joon. 203, *b*).

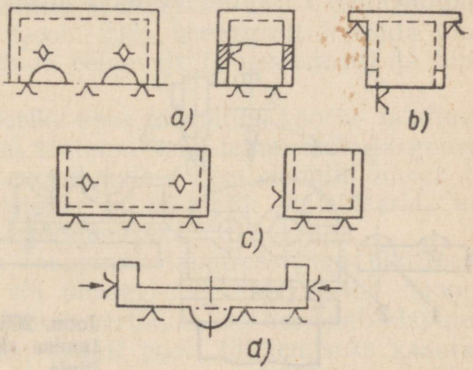
Kui korpuse mõõtmed on suured ja toorikul on veel üks põhiavade telg, tuleb ka seda paigaldamiseks kasutada. Joon. 203, *c* toodud skeemil kasutatakse lähetena tooriku poolava telgi. Ühte vertikaalsesse avasse asetatakse kahe puutepunktiga isetsentreeriv torn, mis töötab rombikujulise sõrme põhimõttel.

See torn lähtab tooriku pikisuunas, poolavadesse asetatavad toed määravad tooriku asendi ristsuunas ja väldivad pöördumist vertikaaltelje ümber.

Ühe põhiavaga korpuste toorikud paigaldatakse avasse asetatavale isetsentreerivale tornile. Torni otsad toetatakse prismadele. Tooriku pöördumise vältimiseks kasutatakse tooriku sisemisel või välimisel pinnal tõkestit (joon. 203, *d*).

Kõikidel käsitletud juhtudel paigaldatakse korpuste valandid oma põhiavadega tsentreerivatele tornidele, mis faktiliselt tagab korpuse lähtamise põhisümmeetriatelgede järgi. Kui korpustel põhiavad puuduvad või nad ei sobi lähtamiseks, nagu see esineb mõnikord lahutatavate korpuste erinevate osade juures, paigaldatakse sisemiste (joon. 204, *a* ja *b*) või välimiste pindade järgi (joon. 204, *c*). Neil juhtudel võivad paigalduselemendid olla isetsentreerivad (joon. 204, *d*).

Sisepinna järgi lähtamisel tagatakse välispindade töötlemiseks



Joon. 204. Korpuste lähtamise skeem esimesel operatsioonil töötlemata tasapinna järgi

etteantud seinapaksus. Isetsentreerivad seadmed väldivad erineva seinapaksuse tekkimist.

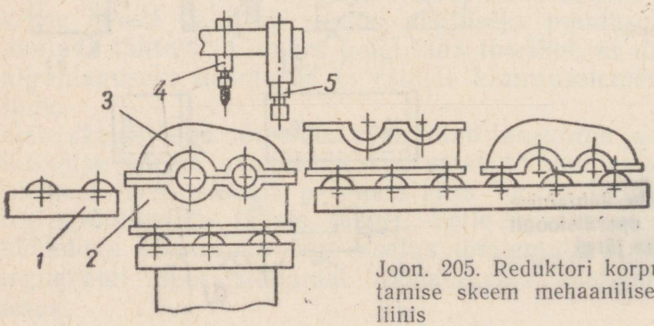
Korpuste töötlemise üldplaan. Korpuste töötlemise tehnoloogilised protsessid koosnevad järgmistest etappidest: 1) lähtepinna töötlemine paigaldusega töötlemata lähetele ja seejärel lähteavade töötlemine; 2) omavahel seostatud tasapindade töötlemine; 3) omavahel seostatud põhiavade töötlemine; 4) kinnitusavade töötlemine; 5) tasapindade ja põhiavade viimistlustöötlemine (alati ei ole nõutav).

Töötlemise etapid iseloomustavad ainult neis lahendatavaid tehnoloogilisi küsimusi. Olenevalt töödeldavate pindade kujust, paigutusest ja töötlemise täpsusest koosneb iga etapp mitmest operatsioonist. Operatsioone, kus lahendatakse põhilisi tehnoloogilisi küsimusi (näit. toimub lähete töötlemine), võib täiendada ka selliste siiretega, mida on kõige otstarbekam teha koos antud operatsiooniga. Sellised täiendused teevad tehnoloogilise protsessi keerukamaks, kuid ei muuda töötlemise üldskeemi.

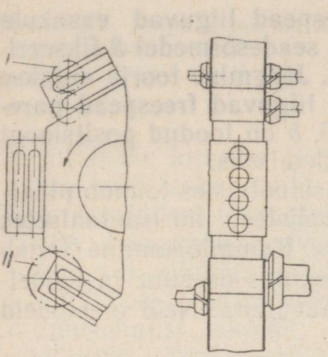
Lahutatavate korpuste tehnoloogilistes protsessides toimub täiendavalt aluse ja kaane lahutuspinna töötlemine ning lahutuspindade kinnitusavade töötlemine ja korpuste vahekoostamine.

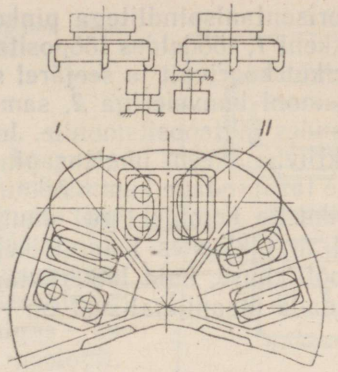
Joon. 205 on toodud koostamisoperatsiooni skeem reduktorikorpuste vooltootmisel. Korpuse alus *2* antakse rullteelt *1* rull-lauale, mis asub ülemises seisus rulltee tasemel. Seejärel laskub laud koos alusega alla, kuni korpuse lahutuspind on rulltee tasemel, ja alusele asetatakse kaas *3*. Puurimismasinat *4* ja mutrikeerajat *5* kasutatakse kontrolltihvtide avade töötlemiseks ja mutrite kinnikeeramiseks.

Väikeseeria- ja individuaaltootmises toimub korpuste töötlemine universaalpinkides ilma rakisteta märkimise järgi. Märkimisega määratakse kindlaks korpuse põhiavade telgede, tasapindade ja teiste pindade asend, võttes arvesse töötlemisvarude otstarbekat jagunemist. Tasapindade töötlemiseks toimub paigaldamine märk-



Joon. 205. Reduktori korpuse ja kaane koostamise skeem mehaanilise töötlemise vooluliinis





Joon. 206. Kahe paralleeltasapinna töötlemise skeem trummelfreespingis

Joon. 207. Töötlemise skeem karussellfreespingis detailide ümberasetusega

joonte järgi rihtimisega, edaspidisel töötlemisel aga rihtimisega töödeldud tasapindade või märkjoonte järgi.

Põhilised tehnoloogilised operatsioonid. Vool-masstootmises töödeldakse korpuste tasapindu trummel- ja karussellfreespinkides, samuti tasapinna kammlõikepinkides; automaatliinides kasutatakse ka spetsiaalseid pikifreespinke.

Seeriatootmises töödeldakse tasapindu pikifrees- ja pikihöövelpinkides.

Viimistlustöötlemine, kui see on nõutav, seisneb lihvimises. Esiteks töödeldakse lähtepinnad. Nendega üheaegselt võib töödelda operatsiooni vastava ülesehituse korral ka teisi pindu. Tasapindade töötlemise operatsiooni koostades tuleb kasutada töölaua kogu pinda ja kogu käigupikkust ning pingi kõiki suporte ja freespäid. Sellega saavutatakse siirete kõrge kontsentreeritus nende mitmekordse ajalise kattuvuse arvel.

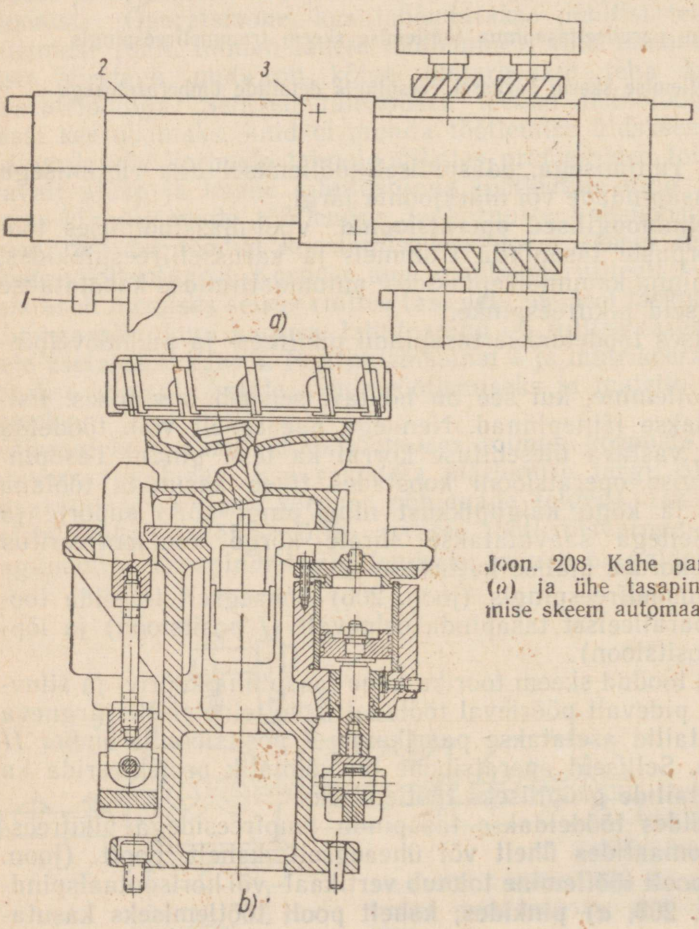
Nii võib trummelfreespingis (joon. 206) üheaegselt freesida tooriku kahte paralleelset tasapinda eelnevalt (*I* positsioon) ja lõplikult (*II* positsioon).

Joon. 207 on toodud skeem tooriku kahe tasapinna kooriv- ja siluvtöötlemiseks pidevalt pöörleval töölaual kahe teineteisele järgneva freesiga. Detailid asetatakse paarikaupa *I* positsioonilt ümber *II* positsioonile. Selliseid operatsioone on võimalik projekteerida ka erinevate detailide grupiliseks töötlemiseks.

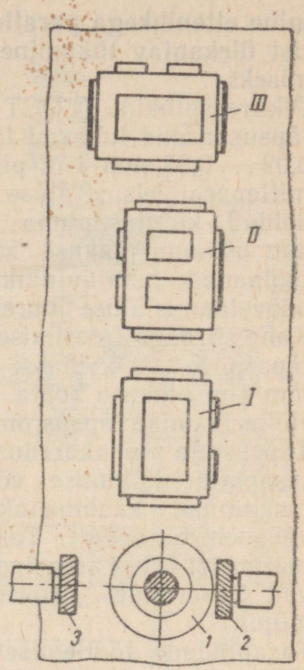
Automaatliinides töödeldakse tasapindu laupfreesidega pikifreesagregaatautomaatides ühelt või üheaegselt kahelt poolt (joon. 208). Ühelt poolt töötlemine toimub vertikaal- või horisontaalspindlitega (joon. 208, *a*) pinkides; kahelt poolt töötlemiseks kasuta-

takse horisontaalspindlitega pinke. Freespead liiguvad vasakule kuni tõkkeni *1*, töödeldes tööpositsioonile seadesõrmedel *3* fikseeritud toorikut koorivalt ja seejärel siluvalt. Järgmine toorik antakse tööpositsiooni konveieriga *2*, samal ajal liiguvad freespead paremale, asudes lähtepositsioonile. Joon. 208, *b* on toodud positsiooni konstruktiivne skeem ühe tasapinna töötlemiseks.

Korpuste tasapindade kammlõikamine masstootmises toimub plaatkammlõikurite komplektiga suuremõõtmelistes, horisontaalsetes 12...14 m pikkustes kammlõikepinkides. Kammlõikamine tagab kõrge tootlikkuse, kuid lõikeriistade maksimum on suur ja töödeldud pindade tasapinnalisust on raske saavutada. Neid meetodeid



Joon. 208. Kahe paralleeltasapinna (*a*) ja ühe tasapinna (*b*) töötlemise skeem automaatliinis



Joon. 209. Korpuse tooriku kuue tasapinna freesimise skeem

kasutatakse kitsaste ja jäikade korpuste suure väljalaske puhul ($\tau < 2$ min/tk). Seeriatootmises töödeldakse korpuste toorikute tasapindu universaalsetes pikifrees- või pikihöövelpinkides, kusjuures kasutatakse operatsiooni ülesehituse mitmekohalist skeemi, sealhulgas ka «detailide ümberasetamise» meetodit. Sellel meetodil töödeldes paigaldatakse iga korpus järjekorras mitmesse asendisse nii, et oleks võimalik töödelda erinevatel külgedel asuvaid pindu (ülemisi, alumisi, külgi, otsi).

Joon. 209 on toodud korpuse kuue külje freesimise skeem. Ülemised ja alumised tasapinnad asuvad ühel kõrgusel ja neid töödeldakse *I* ja *II* positsioonil freesiga *1*. Külgpinnad asuvad ühes vertikaaltasapinnas ja neid töödeldakse *I* ja *II* positsioonil freesiga *2*. Otspinnad töödeldakse *III* positsioonil freesidega *2* ja *3*. Sellel positsioonil paigaldatakse toorik niisuguse kõrgusega, et frees *1* teda ei puudutaks. Töölaua iga käigu järel võetakse *III* positsioonilt maha üks kõikidelt külgedelt töödeldud toorik; *I* ja *II* positsioonil asunud toorikud paigutatakse ümber järgmistele positsioonidele, *I* positsioonile aga asetatakse uus toorik.

Operatsiooni sellise ülesehitusega kasutatakse pinki paremini kui partiide viisi töötlemisel, jääb ära pingi ümberseadistamine, tagatakse vooluse pidev varustamine valmisfreesitud toorikutega ja välditakse osaliselt töödeldud toorikute seismist enne järgmist operatsiooni.

Suhteliselt pikkade ja kitsaste (sealhulgas ka nurgiasetsevate) tasapindadega korpusi töödeldakse spetsialiseeritud pikifreespinkides horisontaalsete freespeadega, mis on varustatud freeside komplektidega mitme pinna üheaegseks töötlemiseks. Väikeseeriatootmises selliseid pindu hööveldatakse. Kui laupfreesi nõutav läbimõõt osutub liiga suureks, hööveldatakse ka laiu pindu.

Raamitüüpi liitepindu on akende küllaldase laiuse puhul otstarbekas freesida programmjuhtimisega pingis, juhtides sõrmfreesi liikumist kontuuri järgi. Sel juhul programmeeritakse töölaua liiku-

mine ettenihkega paralleelsete külgede töötlemiseks ja spindlikastist ülekantav liikumine ettenihkega risti asuvate külgede töötlemiseks.

Pikifreespinkide (ГОСТ 97-58) ja pikihöövelpinkide (ГОСТ 35-54) täpsusnormid lubavad töödeldud tasapindade mittetasapinnalisust 0,02 ... 0,03 mm 1-m pikkuse kohta, töödeldud ülemise tasapinna mitteparalleelsust aluse suhtes 0,02 mm 1-m pikkuse kohta ja töödeldud külgtasapinna mitteristseisu aluse suhtes 0,03 ... 0,06 mm 500-mm pikkuse kohta. Pikihöövelpinkide süsteemi suporttöölaudade lubatav nihkumus vertikaalsuunas on 0,24 μm/kG (1-m hööveldamislaiuse juures).

Kahe siirdega freesimisel (kooriv ja siluv) on saavutatav 4. klassi täpsus, 5. ... 6. klassi pinnakaredus ja tasapinnalisus 0,1 ... 0,2 mm 1-m pikkuse kohta.

Hööveldamise täpsus on mõnevõrra suurem kui freesimisel.

Täpsuse ja pinnakareduse kõrgendatud nõuete puhul viimistletakse tasapindu lihvimise või peenfreesimisega. Väikeseeriatootmises tasapinnad kaabitsetakse, millega pinna mittetasapinnalisus väheneb tunduvalt. Tasapindade töötlemisoperatsioonide projekteerimisel tuleb arvestada ja võimalikult vältida hälbeid, mis tekivad toorikute deformeerumisest kinnitus- ja lõikejõudude mõjul.

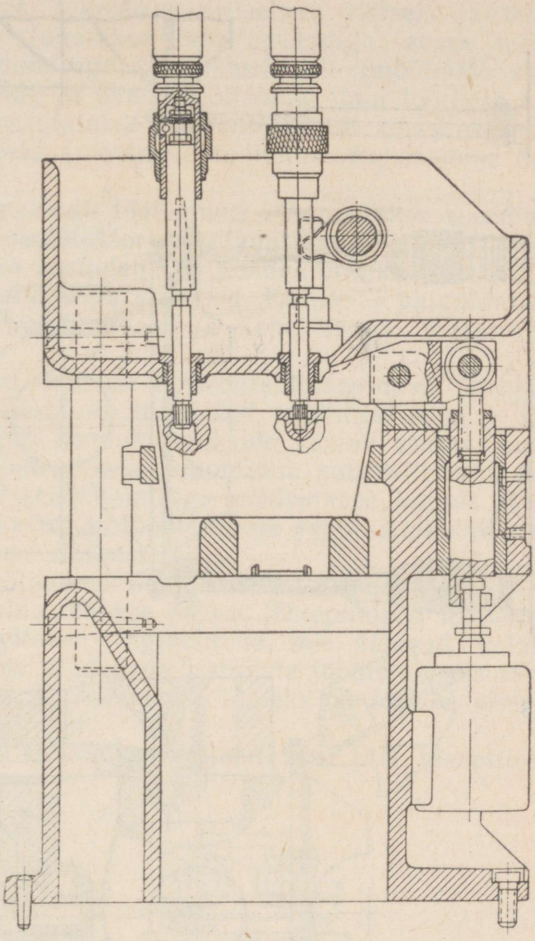
Tasapindade töötlemisel aitab tootlikkust tõsta tehnoloogilisuse põhiliste nõuete täitmine korpuste konstrueerimisel. Jäigad ribid võimaldavad vähendada deformatsioone. Korpuse ühe külje kõik töödeldavad kohad tuleb konstrueerida nii, et nad oleksid kergelt juurdepääsetavad ja asuksid ühes tasapinnas, erinevate külgede töödeldud kohad aga paikneksid omavahel paralleelsetel ja risttasapindadel.

Selliselt kujundatud risttahukas vastab paigalduskindluse nõuetele, võimaldab kinni pidada lähte püsivuse reeglist ja läbivalt töödelda üheaegselt mitme freespea või supordiga mitme töölauale paigaldatud tooriku kahte-kolme külge.

Lähteavasid töödeldakse pärast lähtetasapinna töötlemist radiaalpuurpinkides lõikeriistade vahetamisega või kahespindlilise puurpeaga pingis puurhõõritsaga. Väiksemate toorikute lähteavad töödeldakse kolmepositsioonilistes pinkides või automaatliinides järjestikku kahel positsioonil puurimise ja hõõritsemisega (joon. 210).

Äärikdetailide seeriatootmises treitakse ääriku tasapinna tsentreeriv süvend (eend) ja tsentreeriv ava revolvertrei- või karusselltreipinkides. Ääriku avad töödeldakse radiaal- või mitmespindlilistes puurpinkides.

Väiksemate toorikute masstootmises töödeldakse ühe paigaldusega lähteotspind, eend, ääriku avad ja kõik teised töötlemiseks



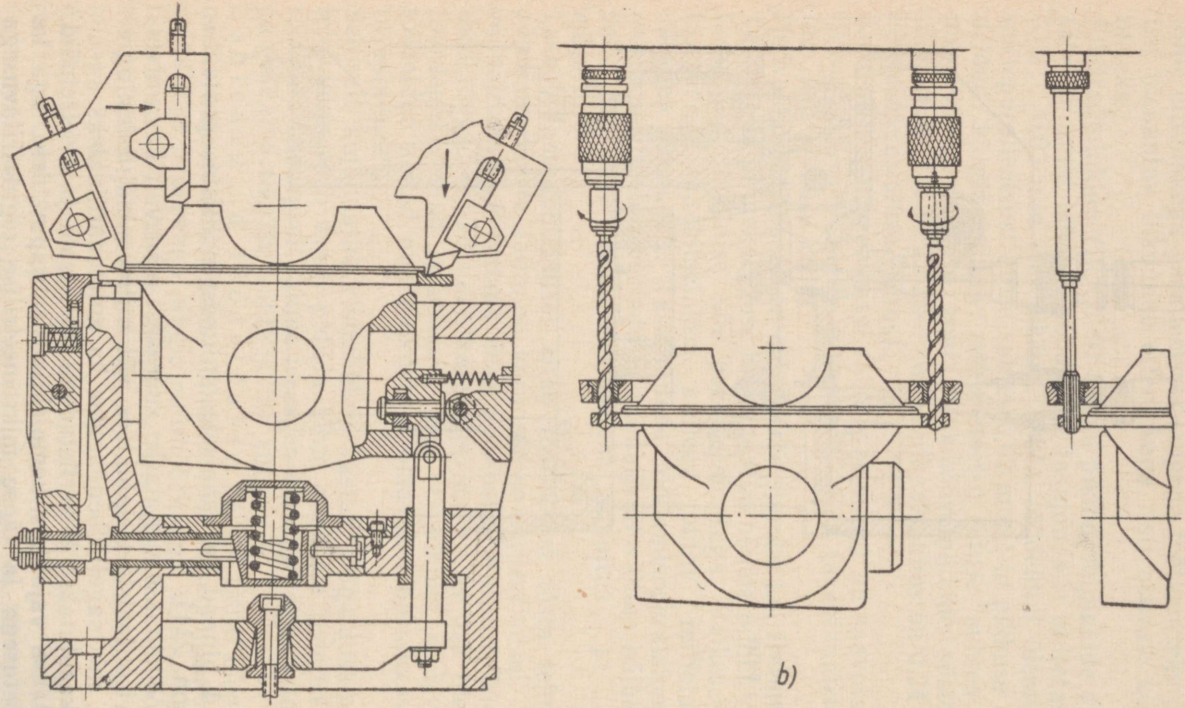
Joon. 210. Lähtepindade töötlemise skeem automaatliinis

kättesaadavad pinnad vertikaalsetes mitmespindlilistes poolautomaatides (joon. 211).

Põhiavasid töödeldakse väljalaske suurusest olenevalt kas universaalsetes horisontaalsisetreipinkides või mitmespindlilistes agregaatpinkides, mis sageli ühendatakse ka automaatliinideks.

Töötlemisel kasutatakse lõikeriistadena hõõritsaid ja sisetreipäid, mis paigutatakse vajalikus komplektis sisetreipinkidele, aga ka ühepoolse asetusega ja täpse mikromeetrilise reguleeritavusega lõiketeri.

Avade samatelgsus tagatakse puurvõllide jäikusega ja puksides suunamisega.



Joon. 211. Korpuse tooriku ääriku (*a*) ja lähteavade (*b*) töötlemise skeem vertikaalses mitmespindlilises automaadiş

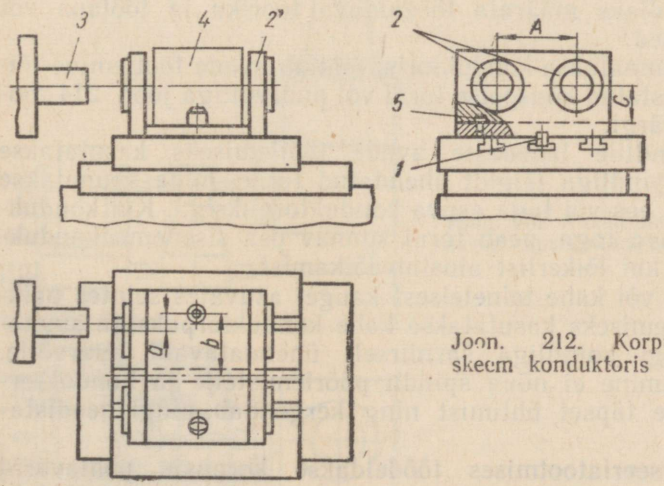
Telgede vahede täpsus, telgede paralleelsus, ristseis ja teised avade asetuse nõuded tagatakse kahe meetodiga: avade töötlemine tööriistade suunamisega konduktori abil (mõõtmete automaatse saamise meetod) ja avade töötlemine ilma tööriista suunamiseta, kusjuures kasutatakse tööriista asendi koordineerimise universaalseid meetodeid (mõõtmete individuaalse saamise meetod).

Tööriista suunamise meetodil töötlemisel lahendatakse koordineerimise ülesanne sisetreikonduktori kasutamisega (joon. 212), mida töölaual orienteeritakse liistudega *1*; konduktorpukside teljed on sealjuures spindli *3* teljega paralleelsed. Korpus *4* paigaldatakse lähtepinnaga rakise tugiplaatidele ja kahe avaga seadesõrmedele *5*.

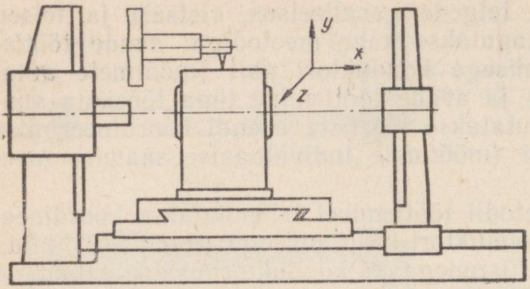
Esimese ava etteantud asukoht horisontaaltasapinnas (külgpinnast või teise ava teljest) on määratud mõõtmete *a* ja *b* abil, mõõtmeid *A* ja *C* tagab konduktorpukside vastav asetus. Antud teljel asuvate avade töötlemiseks suunatakse puurvõlli kahe konduktorpuksiga. Sellise seadistamisega määratakse korpus täielikult, mis võimaldab saavutada töödeldavate avade etteantud koordinaadid ilma igasuguse rihtimiseta.

Korpuste avade töötlemine ilma tööriista suunamiseta nõuab eelnevat märkimist, mida tehakse pärast lähtepindade töötlemist. Rihtimise lähted märgitakse ringjoontena, mis läbivad valandi kesktasapinna, ja nende pindadega ristuvate joontena, mis tähistavad põhiavade telgjooni. Märkimise lähteks on tooriku siseppinnad ja töödeldud tasapinnad.

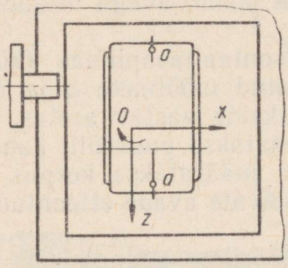
Avade töötlemisel ilma konduktorita (joon. 213) jääb tasapinnali-



Joon. 212. Korpuse paigaldamise skeem konduktoris



Joon. 213. Korpuse paigaldamise skeem konduktorita töötlemisel



sele lähtele paigaldatud tooriku asend telgede x ja z suunas määramata ja toorik võib pöörduda ümber y-telje. Ümber y-telje pöördumise võimalus tuleb paigaldamisel tingimata kõrvaldada. Selleks rihitakse toorik töölaua liigutamisega pingi spindlisse kinnitatud märknõela abil märkjoone kahe punktiga $a—a$.

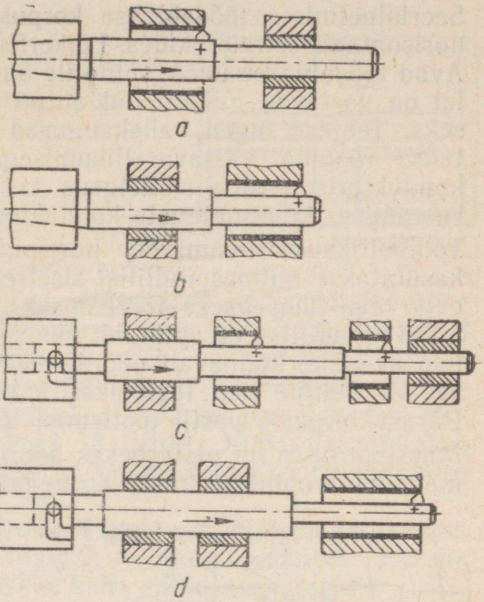
Kui hakatakse töötlema järgmist ava, tuleb ühel või teisel meetodil täpselt kindlaks määrata töödeldava tooriku ja töölaua või spindli nihutused.

Kui tööriista suunatakse konduktoris, toimub avade töötlemine lõikeriistaga varustatud konsoolse torni või puurvõlliga joon. 214 toodud skeemide järgi.

Lühikeste, spindlile lähedaste avade töötlemiseks kasutatakse koonuse abil spindliga jäigalt ühendatud torne, mida suunatakse töödeldava ava ees või taga asuva konduktorpuksiga. Kui konduktorpuks asub ava taga, peab torni suunav osa sisenema konduktorpuksi enne, kui lõikeriist alustab lõikamist.

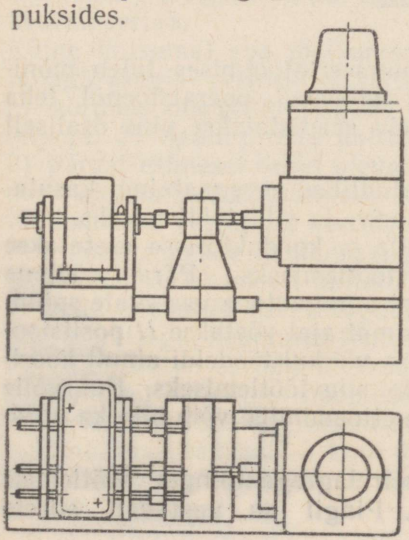
Pikkade avade või kahe teineteisest kaugel asuvates seintes paikneva ava töötlemiseks kasutatakse kahe konduktorpuksiga suunatavaid ja pingi spindliga šarniirselt ühendatavaid puurvõlle. Selline ühendamine ei nõua spindli pöörlemistelje ja konduktorpukside telgede täpset ühtimist ning kergendab pingi seadistamist.

Mass- ja suurseeriatootmises töödeldakse korpuste põhiavasid



Joon. 214. Avade töötlemise skeem konduktori järgi: *a* ja *b* — sisetreitorni suunamisega ühes konduktorpuksis; *c* ja *d* — puurvõlli suunamisega konduktori kahes puksis

mitmespindlilistes pinkides operatsioonide paralleelse ja järjestik-paralleelse ülesehitusega skeemide järgi, kusjuures üheaegselt töödeldakse tooriku kahte või kolme külge. Avade nõutav asend tagatakse agregaatpeade spindlitega, millest igaüks on ühendatud vastava puurvõlliga, mis on suunatav paigaldusrakise konduktorpuksides.

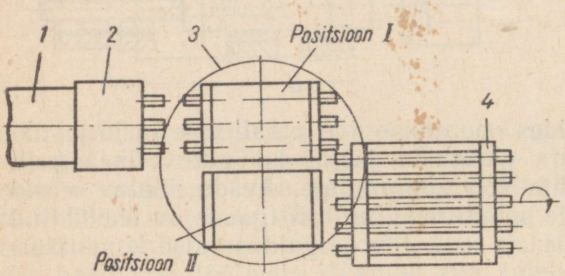


Joon. 215. Avade üheaegse sisetreimise skeem horisontaalsisetreipingis

Seeriatootmises töödeldakse korpuste põhiavasid universaalsetes horisontaalsisetreipinkides. Lõikeriista suunatakse konduktori abil. Avad töödeldakse ühele spindlile ühendatavate puurvõllidega, millel on vastavad lõikeriistad antud teljel asuvate avade töötlemiseks. Telgede õiged vahekaugused ja telgede paralleelsus tagatakse töölaua vastava liikumisega ja puurvõlli suunamisega konduktoris. Avade risttelgsus tagatakse pingi töölaua vastava keeramise ja suunatavate konduktorpuksidega.

Töötootlikkuse tõstmiseks horisontaalsisetreipinkides töötamisel kasutatakse mitmespindlilisi sisetreimispäid mitme paralleeltelgedega ava üheaegseks töötlemiseks. Pea saab pöörleva liikumise pingi spindlilt. Pea spindlid, mis paiknevad vastavalt töödeldavatele avadele, kannavad pöördemomendid üle puurvõllidele (joon. 215). Selline pea tõstetakse kraanaga pingi sängi juhikutele. Pärast korpuste partii töötlemist tõstetakse pea pingilt maha.

Masstootmises on otstarbekas koorivalt ja siluvalt töödelda automaat- või vooluliini kahes agregaatpingis või kahe siirdega agre-

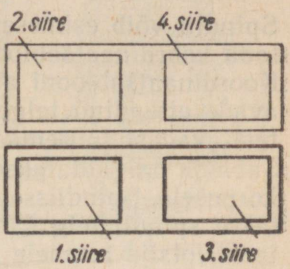


Joon. 216. Korpuse koorivja siluvtöötlemise skeem agregaatpingis: *1* — jõupea; *2* — spindlikast; *3* — pööratav laud; *4* — puurvõllide trummel

gaatpingi kahel tööpositsioonil. Suurseeriatootmises tuleb mõnikord pinkide koormusest olenevalt mõlemad operatsioonid teha ühes mitmespindlilises pingis. Selleks seadistatakse pink osaliselt ümber.

Joon. 216 on toodud näide mitmespindlilise agregaatpingi kasutamise kohta korpuse tooriku ava kooriv- ja siluvtöötlemiseks. Toorik paigaldatakse *II* positsioonile ja konduktorisse asetatakse puurvõllide komplekt avade koorivtöötlemiseks. Pärast töölaua pööramist ja puurvõllide ühendamist agregaatpea vastavate spindlitega töödeldakse *I* positsioonis. Samal ajal võetakse *II* positsioonilt maha lõplikult töödeldud korpus, või kui töödeldi ainult koorivalt, siis valmistatakse toorik ette siluvtöötlemiseks. Puurvõlle annab ette pöörlev trummel. Nende etteandmine võib olla ka automatiseeritud.

Joon. 217 on toodud vertikaalsisetreiagregaatpingis töötlemise skeem korpuse ümberasetamisega. Pingil on vastavalt siirete



Joon. 217. Avade töötlemise skeem detaili ümberasetusega

arvule neli spindlitegruppi. Pingi töölaual on kahepositsiooniline rakis. Toorik asetatakse vasakusse rakisesse ja pärast töötlemist vasaku eesmise spindlitegrupiga (1. siire) paigutatakse toorik tahapoole vasaku tagumise spindlitegrupiga töötlemiseks (2. siire). Seejärel asetatakse toorik vasakust rakisest paremasse ja töödeldakse eesmise spindlitegrupiga (3. siire). Nüüd paigutatakse töölaud toorikuga teise asendisse ja töödeldakse parema tagumise spindlitegrupiga (4. siire).

Pärast tooriku paremasse rakisesse ümberasetamist paigaldatakse vasakusse uus toorik. See võimaldab töölaua eesmises asendis üheaegselt töödelda kahte toorikut kahe spindlitegrupiga.

Väikeste gabariitmõõtmetega korpuste toorikute põhiavasid võib töödelda vertikaalpuurpinkides, kasutades konduktoreid ja mitmespindlilisi päid, või radiaalpuurpinkides, kasutades pöörlevaid konduktoreid.

Korpuste individuaal- ja väikeseeriatootmises on sisetreimine ilma konduktorita raskendatud, kuna lõikeriista on vaja iga ava teljel koordineerida.

Kõige lihtsamal ava töötlemisel konsoolse torni abil liikuva töölauaga pingis seisneb lõikeriista koordineerimine alljärgnevas: 1) korpuse märgitud telgede paralleelsuse kontrollimine spindli teljega; 2) spindli telje ühitamine esimese treitava ava teljega; 3) pärast esimesel teljel olevate avade töötlemist etteantud telgedevahele ümberpaigutamine; 4) laua pööramine ristuvate avade töötlemiseks (vajaduse korral).

Puurvõlliga avade töötlemisel on ülesanne raskem, kuna puurvõlli telg tuleb vertikaalselt ühitada spindli telje ja lünetipuki teljega. Telgede etteantud vahed tagatakse töölaua või spindlipuki ümberpaigutamisega, kusjuures lähtutakse esimese töödeldud ava teljest. Paigaldushälve ei tohi ületada 0,2 ... 0,3 tolerantsiväljast. Horisontaalsisetreipinkide nooniusega joonlaua lugemi järgi tagatakse telgede vahe tolerants 0,3 mm ja üle selle, optilise seadmega joonlaua kasutamisel — kuni 0,1 mm; indikaatori ja kaliibriga — kuni 0,05 mm; tõkestite ja fiksaatorite kasutamisel — kuni 0,2 mm.

Spindlit võib esimese ja kõikide järgmiste avade telgedele paigutada koordinaatšablooni järgi.

Koordinaatšablooni avade koordinaadid vastavad täpselt korpuse avade etteantud telgedele; avade läbimõõdud on aga töödeldavatest avadest suuremad.

Šabloon paigaldatakse pingi töölauale korpuse ette või kinnitatakse korpusele. Spindlisse kinnitatud indikaator-tsentriotsija abil ühitatakse spindli telg šablooni ava teljega ja spindlisse kinnitatakse tsentriotsija asemele tornlõikeriist, millega treitakse ava esimesel teljel. Teisele teljele paigaldatakse spindel tsentriotsija abil šablooni teise ava järgi. Šablooni avade teljed ja spindli telg on ühitatavad täpsusega 0,05 mm.

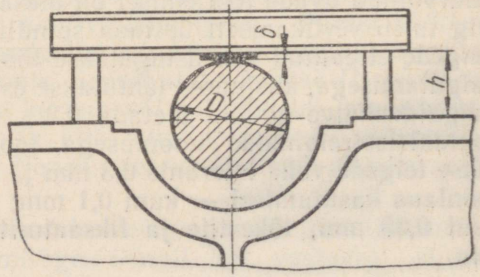
Kõige keerukam on suuremõõtmeliste lahutatavate korpuste töötlemine liikumatu töölauaga horisontaalsisetreipinkides (sammassisetreipingid). Sel juhul tuleb lahutatavate korpuste rihtimiseks kasutada alljärgnevaid täiendavaid võtteid: 1) kontrollida korpuse lahutuspinna horisontaalsust; 2) kontrollida, et spindli telg asuks lahutuspinnas; 3) puurvõlli telg ühitada spindli teljega; 4) puurvõll ümber paigutada paralleelsele teljele.

Korpuse horisontaalsust kontrollitakse vesiloega telgede x ja y suunas täpsusega 0,1 mm 1-m pikkuse kohta.

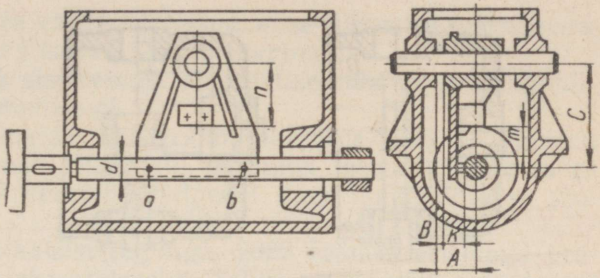
Spindli telje asendi kontrollimiseks lahutuspinnas mõõdetakse kaugus lahutuspinnast kuni spindli korpusesse asetatud torni mooduštajani (joon. 218). Spindli telg asub korpuse lahutuspinnas, kui

$$h - \delta = \frac{D}{2}.$$

Puurvõlli ja spindli samatelgsuse saavutamiseks kontrollitakse spindli ava ja tagapuki pukside samatelgsust optilise mõõteriistaga. Selliselt saavutatav samatelgsuse täpsus on 0,02 mm 1-m pikkuse kohta, kusjuures 6 m kohta on hälve väiksem kui 0,06 mm. Telgede paralleelsust kontrollitakse täpsusega 15 nurgasekundit.



Joon. 218. Spindli telje korpuse lahutuspinnas asetuse kontrollimise skeem



Joon. 219. Ruumiliselt ristseisus olevate avatelgede koordineerimise skeem

Väikeste vahekauguste puhul on spindli ja puksi samatelgsust võimalik kontrollida spindlisse kinnitatud tsentriotsijaga. Puurvõlli ja spindli samatelgsust kontrollitakse eraldi kahes tasapinnas: vertikaaltasapinnas — vesiloe ühesuguste näitude järgi; horisontaaltasapinnas — mõlema puurvõlli otsa kauguse mõõtmisega mõnest teisest, spindli teljega paralleelsest lähtest.

Avade telgede täpsed nurkasendid saavutatakse töölaua pööramise ja täpse (kuni 15″) indekseerimisega, kusjuures treitud avade telgede hälbed ristseisust on 0,05 ... 0,1 mm 100-mm pikkuse kohta. Kui pink ei võimalda pööramist täpselt fikseerida, siis tuleb kontrollida korpuse asendit.

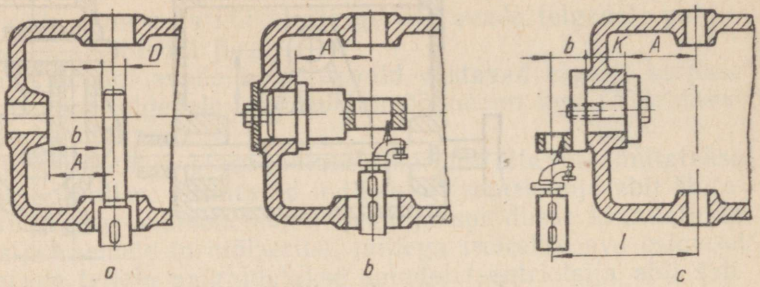
Avade treimiseks, mille teljed ruumiliselt lõikuvad, tuleb spindlit vertikaalselt nihutada etteantud telgedevahe võrra ja töölauda pöörata 90° (joon. 219). Kui kaugused *n* ja *d* on teada, määratakse telgedevahe *C* mõõtme *m* abil. Telgede ristseisu kontrollitakse mõõtmisvahendi otsikute kontakti järgi puurvõlli moodustajaga punktides *a* ja *b*.

Kui rakise mõõde *K* on teada, siis kontrollitakse mõõdet *A* mõõtme *B* mõõtmisega. Märkimise järgi töötlemisel on ava telje ja sisemise otspinna või otspinna ja ava telje vahelise mõõtme saavutatav täpsus $\pm$ 0,5 mm.

Mõõtme *A* väiksematest tolerantsidest võib kinni pidada, kui spindli paigaldamisel avade treimiseks, mille tsentrid asuvad teisel teljel, mõõta puurvõlli moodustajast mõõtmed *D* ja *b* (joon. 220, *a*) või kasutada rakist (joon. 220, *b*).

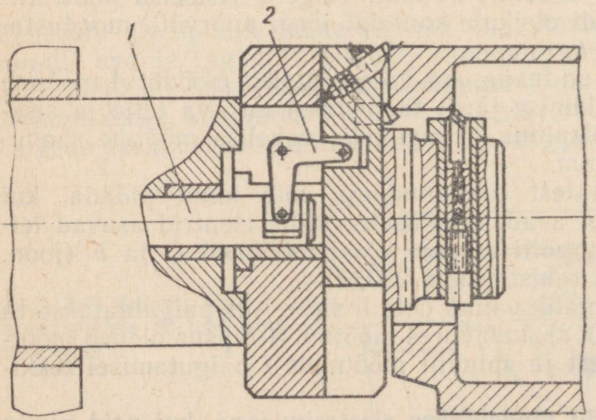
Kui rakist ei ole võimalik panna detaili sisse, siis paigaldatakse ta väljapoole (joon. 220, *c*), kusjuures mõõtme *A* täpsus oleneb mõõtmete *K* ja *b* täpsusest ja spindlit mõõtmele *l* paigutamisel tekkivast hälbest.

Ringikujulisi otspindu töödeldakse sisetreimisega, kui neid pindu ei ole töödeldud koos teiste pindadega. Otspindu läbimõõduga



Joon. 220. Mõõtme tagamise skeem ava teljest kuni korpuse siseotspinnani

80 ... 100 mm töödeldakse laia otsatera ja telgettenihkega; suuremate mõõtmetega otspindu töödeldakse radiaalettenihkega. Selliste otspindade, süviste ja soonte töötlemiseks kasutatakse radiaalettenihkega suportit, mis kinnitatakse pingi plaanseibile.
Agregaatpinkides ja automaatliinides võib üheaegselt avade töötlemisega töödelda otspindu, sooni, süviseid, samuti faasida. Need siirded tehakse terade radiaalettenihkega ja puurvõlli seisatamisega tõkestil, kui ta on jõudnud kindla sügavuseni. Lõiketerad liiguvad kiil- või kangmehhanismi abil radiaalsuunas, kui puurvõlli liikuv osa liigub telje suunas.
Joon. 221 toodud puurvõlli terahoidja (koos otspinna- ja faasiteraga) alustab radiaalettenihet pärast sisetreitera töö lõppemist



Joon. 221. Pinna töötlemine terade radiaalettenihkega

kangi 2 pöördumise ja varda *1* teljesuunalise liikumise tulemusena, kusjuures puurvõlli välisosad jäävad liikumatuks.

Seeriatootmises võib sisetreimist automatiseerida programmjuhtimisega pinkide kasutamisega.

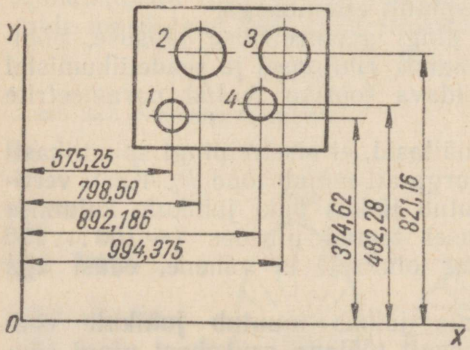
Horisontaalsisetreipinkide programmjuhtimine on suhteliselt lihtne, kuna ta hõlmab lõikeriista juhtimist telgede lõppseisudes lõikeriista liikumisel koordinaattelgedel ilma funktsionaalse seoseta nende vahel.

Kodumaises horisontaalsisetreipingis 2622 toimub arvudega programmjuhtimine perfokaartide abil. Selles pingis võib automaatse tsükliga töödelda läbi- ja umbavasid spindli või töölaua pikiettenihkega ja freesida automaatselt lahtisi tasaseid pindu. Seejuures toimuvad kõik keerulisel sisetreimisoperatsioonil vajalikud abi- ja seadeliikumised, nagu spindli telje automaatne paigutumine esimese töödeldava ava teljele, pingi töölaua või spindlikasti ümberpaigutumine etteantud telgedevahele ja pingi töölaua automaatne pöördumine korpuse erinevatel külgedel asuvate avade töötlemiseks.

Samuti võib programmeerimisega muuta lõiketera puurvõllist väljaulatuvust (muuta raadiust) ja vahetada automaatselt puurvõlle.

Horisontaalsisetreipinkides programmjuhtimisega töötlemise tehnoloogia väljatöötamisel on alljärgnevad spetsiifilised nõuded: 1) joonise ettevalmistamine koordinaattelgede suunas mõõtmete asetamisega, arvestades nende seoseid pingi lähetega (joon. 222); 2) kaartide koostamine pingi liikuvate sõlmede seadeliikumiste järjekorras; 3) seadeliikumiste kodeerimine.

Korpus paigaldatakse lauale lähetega, mille asukoht koordinaatide alguse suhtes on teada, ja ühtlasi määratakse seadeliikumiste

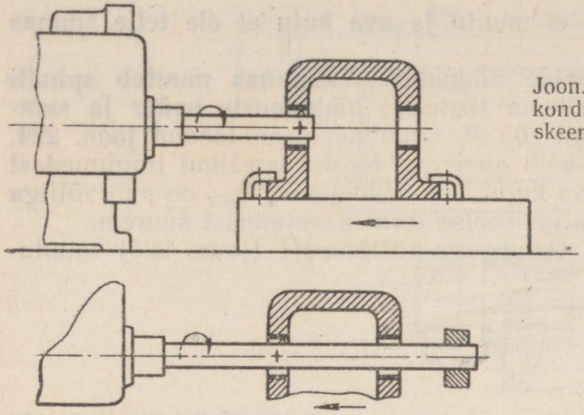


Pos. №	Koordinaat X	Koordinaat Y
1	575,25	374,62
2	798,50	821,16
3	994,375	821,16
4	892,186	482,28

Joon. 222, Mõõtmete asetus korpuse tooriku avade töötlemiseks programmjuhtimisega pingis

«töölaud ristsuunas» ja «spindel üles» fotoandurite nullasendid (lähteseisud).
Seadeliikumiste täpsus oleneb liikuva organi lähteasendi täpsusest algsignaali andmisel ja signaali realiseerimise täpsusest. Lähteasendi hälve on 5 ... 10 μm.
Signaali realiseerimise hälbed olenevad tehnoloogilistest teguritest, sealhulgas ülejooksudest inertsjõudude toimel. Seetõttu on seadeliikumistel aja kokkuhoidmise eesmärgil algul suur kiirus, lõpul vähendatakse kiirust kuni 3 mm/min, et tagada millimeetri murdosaline täpsus. Sellise kiiruse juures on töölaua või puki liikumise kineetilise energia varu tühine ja ülejooks on ligikaudu 10 μm.
Võttes arvesse eeltoodud hälbeid, pingi geomeetrilisi ebatäpsusi ja muid tegureid, on koordinaatidele «töölaud ristsuunas» ja «spindel üles» paigaldamise täpsus optilise lugemisseadme kasutamisel ± 0,03 mm 1000-mm pikkuse kohta.
Paigalduse täpsus koordinaatidele «töölaud pikisuunas» ja «spindel piki telge» on ± 0,05 mm, kui seadeliikumised on ühesuunalised (toorik koos töölauaga liigub spindli poole või spindel liigub tooriku suunas). Keermepaaris esinevad lõtkud ühesuunalisel liikumisel täpsust ei mõjuta.

Teise kujuga tooriku töötlemiseks tuleb vahetada programmikandjat. Programmjuhtimise väljalülitamisel säilitab pingi juhtimine oma universaalsuse. See teeb programmjuhtimissüsteemi täiesti rakendatavaks efektiivseks vahendiks nii seeria- kui ka individuaaltootmises.
Avade kuju ja mõõtmete ning avade koordinaatide ja telgede suuna täpsus korpuste toorikute sisetreimisel oleneb valitud töötlemisskeemist. Töödelda võib kas konduktoriga või konduktorita, konsoolse torni või tagapukile toetuva puurvõlliga, töölaua või spindli ettenihkega.
Töötlemisskeemist oleneb ka pingi geomeetrilise täpsuse, põhisõlmede töökäigu pikkusel, samuti rihtimisel ja seadeliikumistel tekkivate hälvete mõju töödeldava tooriku teatud parameetrite täpsusele.
Eksperimentaalsed uurimised näitasid, et sisetreipingi spindlikasti jäikus oleneb sellest, millise nurga all mõjub jõud P_y. Kasti vertikaalsetel seadeliikumistel muutub jäikus puki juhikute kulumise tõttu. Väljaulatuse suurenemisel teatud piirides (~ 100 ... 150 mm) spindli jäikus ristsuunas oluliselt ei vähene, edasi aga väheneb järsult.
Horisontaalsisetreipingi töölaua jäikus muutub juhikute ebaühtlase kulumise tõttu ja olenevalt töölaua asukohast pingi sängil. Jäikus oleneb ka jõu rakenduskoha kõrgusest ja jõu mõjumise suunast vertikaaltasapinnas. Töölaua kinnitamisega pärast pööra-



Joon. 223. Laua ettenihkega konduktorita sisetreimise skeem

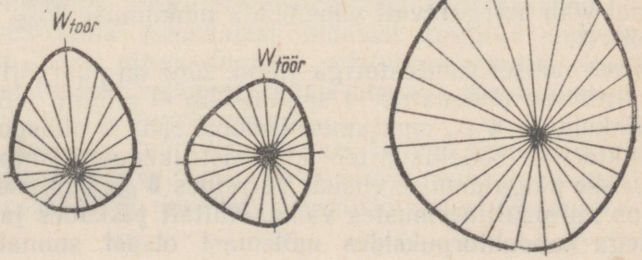
mist võib jäikust tõsta mitmekordselt. Tagapuki jäikus oleneb samuti töödeldava ava kõrgusest.

Avade töötlemisel mõjuvad lõikejõudude reaktsioonid kõikidele pingi sõlmedele ja töödeldavale toorikule, tekitades nende nihkumist. Seejuures mõjutab töötlemise täpsust mitte ainult süsteemi jäikuse absoluutväärtus, vaid ka selle ebaühtlus töökäigu ulatuses, mis oleneb töötlemise skeemist.

Avasid võib konduktorita töödelda spindli muutumatu väljaulatuse puhul töölaua ja temale kinnitatud tooriku ettenihkega töökäigu pikkuse ulatuses või liikumatu töölaua puhul spindli ettenihkega. Seejuures võib mõlemal juhul lõikeriist olla kinnitatud konsoolsele tornile või puurvõllile, mille teine ots toetub töölaua tagapukile.

Konduktorita töölaua ettenihkega töötlemisel (joon. 223) süsteemide toorik-laud (W_{toor}) ja puurvõll-spindlisõlm ($W_{töör}$) nihkumus

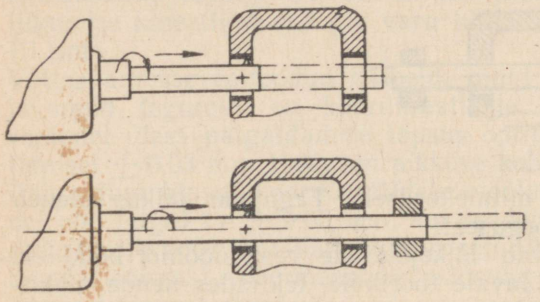
Joon. 224. Nihkumuste epüürid



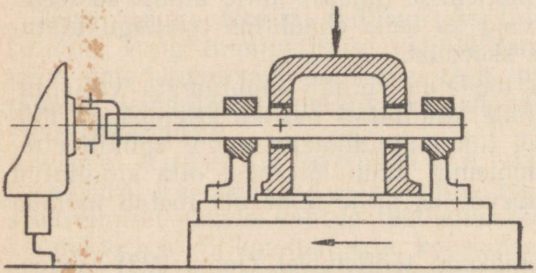
töötlemise pikisuunas ei muutu ja ava kuju ei ole telje suunas moonutatud.

Ülalnimetatud süsteemide nihkumus ristsuunas muutub spindli ühe pöörde vältel. Mõlema süsteemi nihkumuste epüür ja summaarne epüür vastavalt jõu P_y suundadele on toodud joon. 224. Nende epüüride järgi võib olenevalt töötlemisrežiimi tingimustest määrata töödeldava ava kujuhälbe. Nihkumus $W_{töör}$ on puurvõlliga töötlemisel väiksem ja konsoolse torni kasutamisel suurem.

Konduktorita spindli ettenihkega töötlemisel (joon. 225) muutu-



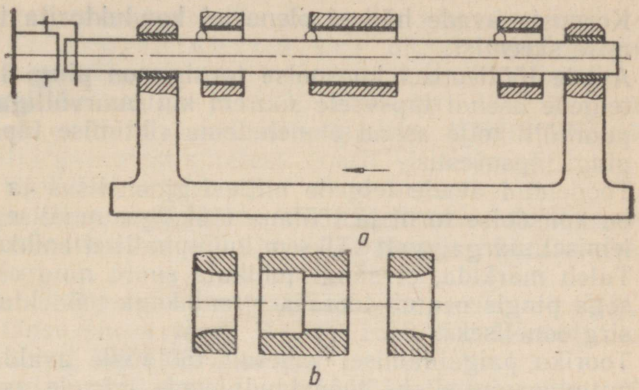
Joon. 225. Spindli ettenihkega konduktorita sisetreimise skeem



Joon. 226. Konduktoriga sisetreimise skeem

vad nihkumused W_{toor} ja $W_{töör}$ ristsuunas, peale selle muutub spindli väljaulatusest olenevalt süsteemi puurvõll-spindel nihkumus pikisuunas. Sel juhul oleneb kujuhälve kogu ava pikkusel summaarsete nihkumuste $W_{töör}$ ja W_{toor} kõikumise piiridest ava äärmistes ristlõigetes. Puurvõlli kasutamine konsoolse torni asemel võib märgatavalt vähendada nihkumust $W_{töör}$ ja ka ava kujuhälvet.

Sisetreimisel konduktoriga (joon. 226) on puurvõll pingi spindliga šarniirselt ühendatud ja spindlisõlm ei mõjuta töötlemise täpsust. Nihkumuse W_{toor} muutumise iseloom rist- ja pikisuunas oleneb konduktori ja töödeldava tooriku konstruktsioonist ning tema konduktorisse paigaldamise viisist. Võrreldes $W_{töör}$ suurusega on W_{toor} suurus normaaltingimustes väike. Küllalt pikkades ja väikeste lõtkudega konduktorpuksides mõlemast otsast suunatavat puurvõlli



Joon. 227. Samatelgsete avade sisetreimise skeem (*a*) ja avade kujuhälbed (*b*)

võib ligikaudselt käsitada kui tala kahel toel. Konduktori küllaldase jäikuse puhul võib lõikeriista nihkumust $W_{töör}$ ristsuunas lugeda muutumatuks, pikisuunas ta aga muutub lõiketera konduktorpuksist kaugenemisega, mis kutsub esile ava moodustaja sujuva muutumise.

Samatelgsete avade töötlemisel puurvõlliga, millel on mitu lõiketera, mõjub puurvõllile liikuvate koondatud jõudude süsteem. Lõiketerade eri aegadel töösseastumise ja töö lõpetamise tõttu on koormustingimused väga komplitseeritud ning ava moodustaja kuju on seetõttu astmeline (joon. 227). Mitme lõiketeraga sisetreimise täpsuse analüütiline arvutamine on raske.

Horisontaalsisetreipinkide geomeetrilised hälbed avaldavad teatud tingimustes märgatavat mõju korpuste avade töötlemise täpsusele.

Pingi geomeetriliste hälvete mõju on kõige märgatavam, kui tehnoloogiline süsteem on vähe koormatud, s. t. siluvtöötlemisel ja pehmetest materjalidest toorikute töötlemisel. Koorivtöötlemisel jõutegurite mõju suureneb ja selle tagajärjel geomeetriliste hälvete osatähtsus väheneb.

Seejuures tuleb märkida pingi geomeetrilistest ebatäpsustest ja tehnoloogilises süsteemis esinevatest nihetest tingitud hälvete omavahelist seost, kuna pingi sõlmede nihkumus muutub koos pingi geomeetrilist täpsust iseloomustavate tegurite muutumisega, näiteks seoses kulumise kasvava mõjuga.

Avade mõõtmete, kuju ja ruumilise asetuse hälbed konduktoriga töötlemisel ei olene pingist ega ettenihke viisist, vaid konduktori ja puurvõlli täpsusest ning puurvõlli istamislõtkudest konduktorpuksis.

Korpuste avade hälbed olenevad konduktorita töötlemisel töötlemise skeemist.
Avade töötlemisel konsoolse torniga on pingi täpsuse mõju ava telgede asendi täpsusele suurem kui puurvõlliga töötlemisel, sest puurvõlli telje asend oleneb tema rihtimise täpsusest, mitte aga pingi täpsusest.
Töödeldud avade telgede mittesirgjoonelisus ja mitteparalleelsus on konsoolse torni ja töölaua töökäigusuunalise ettenihkega töötlemisel märgatavalt väiksem kui spindli ettenihkega töötlemisel.
Tuleb märkida, et sängi juhikute suure ning ebaühtlase kulumisega pingis osutub töölaua ettenihkega töödeldud ava telg mittesirgjooneliseks.
Tooriku paigaldamisel vahetult töölauale avaldab laua tööpinna mittetasapinnalisus töödeldud avade telgede asendile lähtepinna suhtes märgatavat mõju, kusjuures töötavate pinkide töölaua mittetasapinnalisus võib olla võrdlemisi suur.
Uute horisontaalsisetreipinkide täpsusnormid ГОСТ 2110-57 järgi lubavad mõõtmete kogu ulatuses töödeldavate avade kujuhälbeid pikisuunas 0,02 ... 0,04 mm, ristsuunas 0,025 ... 0,04 mm, ava telje mitteristseisu otspinna suhtes kuni 0,03 mm 300-mm pikkuse kohta, kusjuures töödeldud otspindade mittetasapinnalisus (kumerus) on lubatud kuni 0,02 mm 300-mm pikkuse kohta.
P i n g i s e a d i s t a m i s e h ä l v e oleneb lõikeriistade ja rakiste paigaldamise täpsusest.
Sisetreiterad seatakse mõõtmele tavaliselt puurvõlli välispinna järgi; seepärast peab puurvõll olema suure täpsuse ja kõrge pinnasiledusklassiga. Terad seadistatakse koorivtöötlemiseks jäikade kaliibrite järgi, siluvtöötlemiseks aga mikromeetriliste või indikaatorrakiste järgi.
Toorikute paigaldamisel konduktoritesse tekib p a i g a l d u s h ä l v e nendel mõõtmetel, mis seovad paigaldus- ja mõõteläh teid.
Rihtimishälbed tooriku paigaldamisel ilma konduktorita avaldavad mõju avade telgede kauguste täpsusele rihtimislähetest, telgede paralleelsusele, avade samatelgsusele ja telgede vahedele.
Hälvete suurused olenevad rihtimise meetodist ja kasutatavate riistade täpsusest ning võivad erineda 5 ... 10 korda. Hälbe suurus peab vastama taotletavate mõõtmete nõutavale täpsusele. Vähejäiga konstruktsiooniga korpuste puhul on otstarbekas kinnitusjõu suurus reglementeerida.
S o o j u s l i k e h ä l v e t e mõju korpuste töötlemistäpsusele püütakse töötlemisel vältida.
Korpuste diametraalmõõtmete summaarset hälvet ja ruumiliste hälvete suurusi ei ole senini võimalik analüütiliselt arvutada nähtuste komplitseerituse ja väheuurituse tõttu.

Nõutava täpsuse tagamiseks vajalik siirete arv sisetreimisoperatsioonide projekteerimisel oleneb toorikute ja töödeldavate avade mõõtmetest ning ka toorikute kvaliteedist. Seeriatootmises 2. täpsusklassiga ja 120 ... 150-mm läbimõõduga avade töötlemine *II* ja *III* täpsusklassi valandites (ГОСТ 1855-55 järgi) koosneb alljärgnevatest siiretest: kooriv sisetreimine 7. täpsusklassi järgi; poolsiluv sisetreimine või avardamine 5. ... 4. täpsusklassi järgi; siluv sisetreimine või hõõritsemine 3. täpsusklassi järgi; peensisetreimine või ujuva hõõritsaga hõõritsemine 2. täpsusklassi järgi.

Masstootmises, kus valandid valmistatakse *II* täpsusklassi järgi, harvemini ka *I* täpsusklassi järgi (ГОСТ 1855-55), töödeldakse avasid vastavalt kolme või kahe siirdega.

I täpsusklassi järgi valmistatavaid avasid töödeldakse pärast *II* klassile vastava täpsuse saavutamist täiendavalt kas hoonimise või peentreimisega.

Kahes seinas asuvate avade samatelgsuse tagamiseks töödeldakse neid ühelt poolt ja ühise läbimiga, kusjuures koorivalt võib neid ka eraldi töödelda.

Agregaatpinkides töötlemisel on otstarbekas jaotada kooriv- ja siluvtöötlemine kaheks operatsiooniks, mida tehakse automaatliini kahes pingis, või kaheks siirdeks, mida tehakse vooluliini agregaatpingi kahes tööpositsioonis.

Kõige raskemate korpuste töötlemine, mis toimub pinkidel liikumatu lauaga (sammassisetreipink), on seotud suurte ajakuludega, sealhulgas abiaja kuludega, mille osatähtsus moodustab ebasoodsatel juhtudel 60 ... 80% tükiajast.

Sellistel pinkidel tehtavad sisetreimisoperatsioonid ei jagune tavaliselt koorivateks ja siluvateks ning neid tehakse ühe paigaldusega. Alles pärast seda, kui on tehtud kõik ettenähtud siirded ja on saavutatud antud teljel asuvate avade mõõtmete nõutav täpsus ja pinnakaredus, alustatakse järgmisel teljel asuvate avade töötlemist.

Aja kokkuhoidmiseks on otstarbekas pika puurvõlli asemel kasutada lühikest konsoolset treitorni, kuna puurvõlli kasutamine nõuab pikaajalist rihtimist tagapuki laagrisse paigaldamisel.

Konsoolset torni võib kasutada siis, kui $l \leqslant (5 \ldots 6)d$, madalate täpsusnõuetega korpuste puhul ka kuni $l = (8 \ldots 10)d$.

Täpseid korpusi töödeldakse mõnikord koorivalt konsoolsete tornidega, siluvalt aga puurvõlliga kahel toel.

Töötlemise töömahukuse vähendamiseks suuregabariidiliste korpuste töötlemisel treitakse avasid üheaegselt mitme puurvõlliga, mida käitatakse ümberpaigutatavate sisetreimispeadega.

Sisetreimispead paigaldatakse pingi plaadile vajalikele telgede-

vahedele tooriku erinevatele külgedele. Koos nendega monteeritakse ka lünettpukid puurvõllide juhtimiseks. Selliselt kujuneb välja monteeritav konduktoritüüpi stend mitmespindliliseks töötlemiseks.

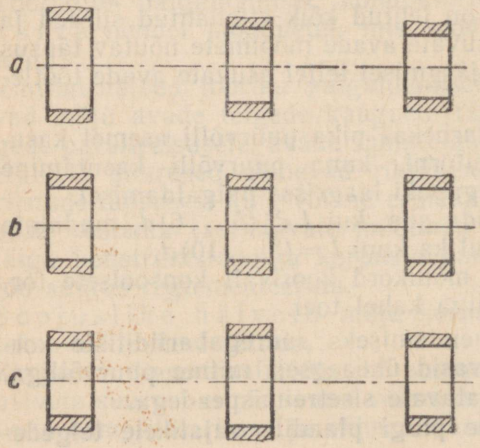
Töötootlikkuse tõstmist korpusdetailide põhiavade töötlemisel soodustab konstruktsiooni tehnoloogilisuse mõningate nõuete täitmine.

Põhiavad peavad olema läbivad, võimaluse piires teiste avade ja akendega ristumiseta. Umbavasid on raske töödelda (eriti suure sügavuse korral) ja akende olemasolu kahjustab ühekülgselt lõigatavatel kohtadel ava kuju täpsust. Ava pikkuse ja läbimõõdu vahekord peab võimaldama jäiga treitorni kasutamist.

Lõikeriistade asetamine puurvõllile korpuse seintes olevate akende kaudu ei ole seeriatootmises soovitatav, masstootmises on aga lubamatu. Sellega seoses ei tuleks kasutada mitte mingisuguseid töödeldud siseotspindu, süviseid ega faase, mis nõuavad tera kohaleasetamist pärast puurvõlli korpusesse paigutamist. Otspindade töötlemine pöördsuunalise ettenihkega teeb tehnoloogilise protsessi veel enam komplitseerituks.

Avade sooned fikseeritavate rõngaste ja sisseasetatavate kaante jaoks põhiavade diametraaltasapinnas lahutatavates korpustes lihtsustavad konstruktsiooni ja kergendavad koostamist. Töötlemine läheb seejuures veidi keerulisemaks, kuid on täiesti teostatav, kui kasutada tera radiaalettenihkega puurvõlle.

Lahutuspind raskendab korpuste avade töötlemist, kuna korpuse ja kaane materjalide mehaanikaliste omaduste võimalik erinevus kahjustab ava töötlemisjärgset täpsust. Ujuvat tööriista aga ei ole ava viimistlevaks töötlemiseks võimalik kasutada ava lahutuspinna olemasolu tõttu.



Joon. 228. Avade asetuse skeem teljel

Samatelgsete avade töötlemisel on suur tähtsus nende asetusel (joon. 228).

Ühelt poolt töötlemiseks sobib kõige enam avade asetus vähenevate läbimõõtude järjekorras (joon. 228, *a*).

Ühe läbimõõduga avad töödeldakse (joon. 228, *b*) kergelt ja takistamatult ühe lõikeriistaga järjekorras kõikides seintes. Selliste avade üheaegseks töötlemiseks on eelnevalt vaja kahe teraga puurvõll paigutada korpusesse. Selleks tõstetakse korpus paigaldusrakise spetsiaalse seadmega üles, pärast puurvõlli korpusesse paigutamist aga lastakse alla ja kinnitatakse.

Avade gruppi, mille suurim ava asub keskmises seinas (joon. 228, *c*), on võimalik töödelda, kui kinnitada lõikeriist puurvõllile pärast puurvõlli korpusesse paigutamist. Avasid võib töödelda ka puurvõlli sisse paigutatud kiil-, kang- või mõne teise seadme abil lõikeriista väljaulatust muutes või, kasutades programmjuhtimisega puurvõlli, treida kõigi kolme seina avad järjekorras. Agregaatpinkides töötlemiseks avade selline paigutus teljel ei sobi.

Kinnitusavade töötlemine. Kinnitusavade ja teiste väiksemate avade töötlemisel on korpuste töötlemise tehnoloogias oluline tähtsus.

Kinnitusavad paigutatakse gruppidena, kusjuures on nõutav avade grupisisene koordineerimine (samm, jaotusringjoon jne.) ja gruppide koordineerimine tooriku sümmeetriatelgede, lähtepindade või avade teiste gruppide suhtes.

Avade etteantud paigutus tagatakse tavaliselt konduktori abil. Ainult väikeseeriatootmises, kus ei ole otstarbekas kasutada ka kõige lihtsamat konduktorit, töödeldakse märkimise järgi.

Märkimise järgi töötlemine on töömahukam, saavutatav täpsus on aga väiksem kui konduktori abil töötlemisel (avade sammu täpsus pole suurem kui $\pm$ 0,25 mm).

Avade töötlemine mitme siirdega toimub alljärgnevate meetodite järgi.

1. Töötlemine tooriku järjestikuse paigutusega mitmesse positsiooni, mis on varustatud vastavate lõikeriistadega (näit. *I* positsioon on varustatud vastavalt paigutatud puuridega, *II* positsioon — avarditega, *III* positsioon — keermepuuridega). Toorik paigutatakse uude positsiooni töölaua pööramise või sirgjoonelise liikumisega. Kõigis positsioonides töödeldakse kõik avad üheaegselt.

2. Töötlemine ühes positsioonis kohtkindla toorikuga, kusjuures siirete tegemisel vahetatakse järjekorras lõikeriistu radiaalpuurpingi spindlis; mitmesuguse läbimõõduga lõikeriistade suunamiseks vahetatakse ka konduktori juhtpukse. Operatsioone lõikeriistade vahetamisega iseloomustab suur töömahukus ja abiaja suur osatähtsus tükiajas (50 ... 60% ja rohkem).

3. Töötlemine kombineeritud või koostatavate lõikeriistadega (puur-avardi, puur-hõõrits ja puur-koonussüvits või laupsüvits). Keermetatakse tavaliselt eraldi ja see toimub puurpinkides keermelõikepadruni abil ilma konduktorita.

Üheaegselt töötavate lõikeriistade arvu suurendamine võimaldab tõsta töö tootlikkust kinnitusavade töötlemisel. Spetsiaalsetes agregaatpinkides ulatub üheaegselt töötavate spindlite arv mitmekümneni, automaatliinide kõikides positsioonides kokku — mitmesajani.

Seeriatootmises töödeldakse kinnitusavad agregaatpinkides või mitmespindliliste peadega varustatud universaalpuurpinkides.

Revolverpeade kasutamine radiaalpuurpingi spindlis kõrvaldab lõikeriistade käsitsivahetamise vajaduse avade järjestikusel töötlemisel.

Korpuste mitmes seinas asuvaid avadegruppe on otstarbekas järjestikku töödelda pööratava konduktori abil radiaalpuurpingis.

Korpuste väikese väljalaske puhul ja avade väikeste gruppide puurimiseks seeriatootmises kasutatakse pealeasetatavaid ja koostatavaid konduktoreid universaalsete koostatavate rakiste (УСП) komplektist.

Pealeasetatavat konduktorit võib korpusele paigaldada kolmel viisil:

1) lähtudes korpuse töödeldud pindadest — põhiavadest või külgpindadest;

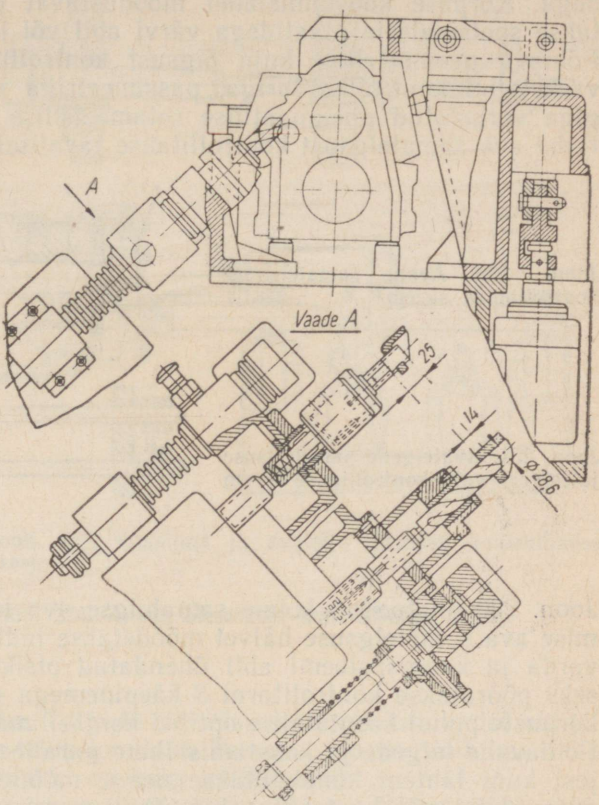
2) konduktori ja korpuse telgi määravate märkimisjoonte ühitamisega, kusjuures märkimisjooned märgib korpusele puurija etteantud lähtest, kasutades selleks mõnikord abišablooni;

3) silma järgi konduktori ja korpuse eendite kontuuride ühitamisega.

Seeriatootmises töödeldakse lahutatavate reduktorite korpuste avad lahutuspinnas vahelduvalt korpuse ja kaane seostuvate avade puurimiseks määratud pööratavas konduktoris, kusjuures nii korpuse kui ka kaane avad puuritakse samade konduktorpukside kaudu. Sellega saavutatakse avade ühtimine mõlema korpusepoole koostamisel ja tagatakse vooluse pidev toitmine korpuste komplektidega.

Joon. 229 on näidatud keermeavade töötlemine automaatliinis. Mitmespindliline kinnitusavade töötlemine automaatliinides võimaldab 50 ... 100-kordselt alandada pingitööde töömahukust, võrreldes ühespindlilise töötlemisega seeriatootmises.

Kinnitusavade töötlemisel korpustele on alljärgnevad tehnoloogilised nõuded. Korpuste kinnitusavad peavad olema võimalikult ühesuguse läbimõõduga. See on eriti tähtis abiaja vähendamiseks avade töötlemisel lõikeriista vahetamisega. Korpuste ühe külje avad peavad olema paralleelsete telgedega. Nurga all asuvate



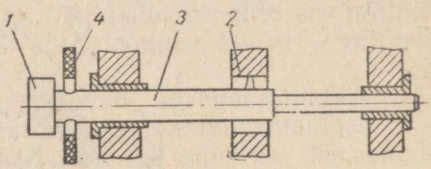
Joon. 229. Keermeavade töötlemise skeem automaatliinis

avade töötlemiseks on vaja toorik uuesti paigaldada või fikseerida rakiste täiendavaid pöördenurki. Automaatliinides on see seotud agregaatpeade seadistamisega nurga all.

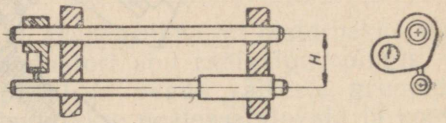
Tehnilise kontrolli ülesanded: kontrollida korpuse koostamisläheteks kasutatavate tasapindade sirgjoonelisust ja suhtelist asetust, avade samatelgsust, põhiavade telgede ja koostamislähete paralleelsust, põhiavade telgede vahesid ja nende omavahelist paralleelsust, avade telgede ristseisu (juhul kui korpuses on ristuvate telgedega avasid), avade otspindade ja telgede ristseisu.

Tasapindade sirgjoonelisust kontrollitakse tavaliselt joonlauda-

dega. Korpuse koostamislähet moodustavat tasapinda kontrollitakse spetsiaalsete plaatidega värvi abil või lehtkaliibriga.
Põhiava geomeetrilise kuju õigsust kontrollitakse indikaatoriga varustatud kontrollkaliibriga, passimeetriga või spetsiaalse korgiga varustatud pneumaatilise rotameetrilise seadmega.
Kahe ava samatelgsust kontrollitakse tavaliselt kontrolltornidega.

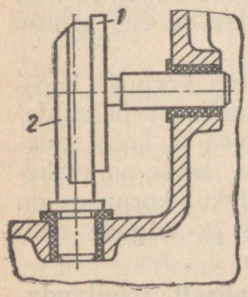


Joon. 230. Avade samatelgsuse kontrollimise skeem

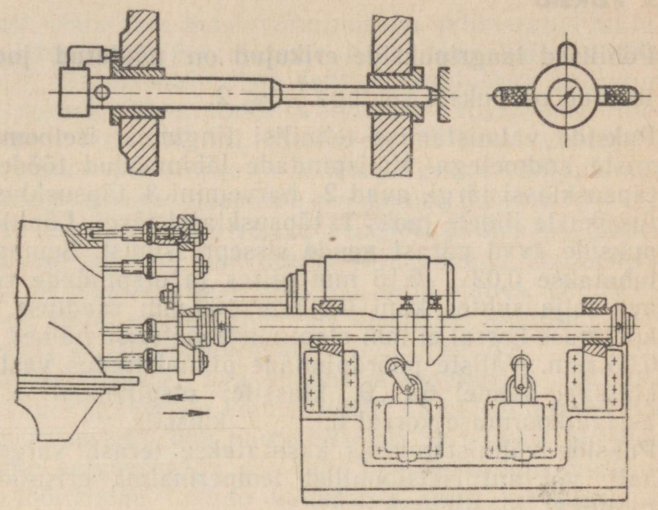


Joon. 231. Avatelgede paralleelsuse ja telgede vahe kontrollimise skeem

Joon. 230 on toodud kolme samatelgse ava kontrollskeem. Keskmise ava samatelgsuse hälvet mõõdetakse indikaatoriga *1*, mis on varda ja kangisüsteemi abil ühendatud otsikuga *2*. Kontrollimiseks pööratakse kontrolltorni *3* käepidemega *4*. Suuremõõtmeliste korpuste puhul kasutatakse optilisi kontrollimismeetodeid.
Põhiavade telgede ja koostamislähete paralleelsust ja mõõdet teljest kuni lähteni kontrollitakse nende mõõtmisega vahetult korpuse otstel või kontrolltorniga. Põhiavade telgede paralleelsust ja kaugust *H* nende vahel kontrollitakse kontrolltornide ja indikaatorseadmega (joon. 231).
Avade telgede ristseisu võib kontrollida joon. 232 toodud skeemi järgi. Ketta *1* saba asetatakse ühte avasse, teise avasse aseta-



Joon. 232. Avatelgede ristseisu kontrollimise skeem



Joon. 233. Otspinna ja avatelje ristseisu kontrollimise skeem

Joon. 234. Avade olemasolu kontrollimise skeem

takse joonlaua *2* saba. Telgede ristseisust kõrvalekaldumist hinnatakse pilu järgi, mis tekib joonlaua ühe otsa juures. Võib kasutada ka rakist, mille joonlaual on kaks indikaatorit.

Ristuvate telgede ristseisu kontrollitakse joon. 219 toodud rakisega.

Otspindade ristseisu avade telgede suhtes kontrollitakse indikaatorilise rakisega, avasse asetatud torni keeramisega, millel ei ole teljesuunalise liikumise võimalust (joon. 233).

Suure väljalaskega tootmisel tuleb kasutada mitmekohalisi rakiseid kõikide töödeldud avade läbimõõtude üheaegseks kontrollimiseks pneumaatiliste ja pneumoelektriliste seadmete abil.

Mõõtmete automaatse kontrollimise kõrval kasutatakse automaatliinidel ka mitmesuguseid spetsiifilisi kontrollimisriistu ja -rakiseid.

Keermepuuride purunemise vältimiseks keermetamisel, kui avas on eelmisel operatsioonil murdunud puur, juhitakse avasse kontrollotsik (joon. 234). Juhul kui ava sügavus on küllaldane, jätkab liin töötamist; kui aga ava puudub või ta ei ole puuri purunemise tagajärjel enam küllalt sügav, siis järgmist tsüklit sisse ei lülitata ja liin jääb seisma.

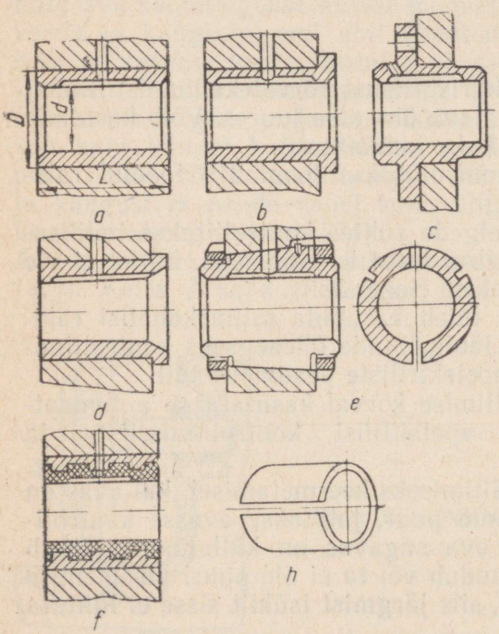
3. PUKSID

Põhilised laagripukside erikujud on näidatud joon. 235. Enam levinud on puksid suhtega $\frac{L}{D} \leqslant 2$.

Pukside valmistamise tehnilisi tingimusi iseloomustatakse järgmiste andmetega. Välispindade läbimõõdud töödeldakse 2. ja 3. täpsusklassi järgi, avad 2., harvemini 3. täpsusklassi järgi, vastutusrikaste liidete jaoks 1. täpsusklassi järgi. Lõplikult töödeldakse pukside avad pärast nende sissepressimist. Seinapaksuse hälbeid lubatakse 0,03 ... 0,15 mm piires ja otspindade ristseisu hälbeid ava telje suhtes kuni 0,2 mm 100-mm raadiuse kohta; aksiaalkoormuse korral ei tohi otspindade ristseisu hälbed ületada 0,02 ... 0,03 mm. Väliste pöördpindade pinnakaredus vastab tavaliselt 6. klassile, avadel 6 ... 9. klassile; otspindadel 4. klassile ning aksiaalkoormuse korral 6. ... 7. klassile.

Pukside valmistamiseks kasutatakse terast, valgevaske, pronksi, hall- või antifriktsioonilist tempermalmi, erisulameid, metallkeraamikat, plastmasse.

T o o r i k u t e l i i g i d. Pukside valmistamiseks, mille läbimõõt on kuni 20 mm, kasutatakse kalibreeritud või kuumalt tõmmatud vardaid ja samuti valatud kange. Puksid, mille läbimõõt on suurem kui 20 mm, valmistatakse tervikuna tõmmatud torudest või õõn-



Joon. 235. Laagripukside konstruktiivsed erikujud

satest valanditest. Valatakse masinvormimisega valmistatud muldvormidesse, alalistesse metallvormidesse, tsentrifugaalvalu ja rõhu all valamise teel. Õhukeseseinaliste lahtise õmblusega keeratud pukside valmistamiseks kasutatakse valgevask- või pronks-ribamaterjali ja samuti bimetall-linti. Metallkeraamilistest materjalidest toorikud saadakse pressimise ja sellele järgneva paagutamise teel. Plastmassidest toorikud saadakse pressimise teel.

T e h n o l o o g i l i s e d ü l e s a n d e d. Pukside töötlemise tehnoloogilisteks ülesanneteks on saavutada välispindade kontsentrilisus ava suhtes ja otspindade ristseis ava telje suhtes. Õhukeseseinaliste pukside puhul on veel täiendav ülesanne: kinnitada toorik töötlemiseks nii, et see märgatavalt ei deformeeruks.

Välispindade kontsentrilisust ava suhtes ja otspindade ristseisu ava telje suhtes võib saavutada kolmel viisil: 1) välispindade, ava ja otspindade töötlemisega ühe paigaldusega; 2) kõikide pindade töötlemisega kahe paigaldusega või kahe operatsiooniga, kusjuures ava lõplik töötlemine toimub välispinna järgi lähtamisega; 3) kõikide pindade töötlemisega kahe paigaldusega või kahe operatsiooniga, kusjuures välispinna lõplik töötlemine toimub ava järgi lähtamisega.

Pukside varbmaterjalist või torust valmistamisel on võimalik ühe paigaldusega töötlemine, kusjuures töödeldud toorik lõigatakse maha peale operatsiooni sooritamist.

Suurte valandite individuaalne valamine ühe paigaldusega töötlemiseks tingib juurdevalatiste olemasolu, mis suurendab tunduvalt metallijäätmeid ja vähendab metalli kasutamise tegurit. Seepärast kasutatakse seda töötlemisviisi üksikvalandite puhul ainult individuaaltootmises.

Kahest teisest paigaldusviisist on ava järgi paigaldamisel rida eeliseid, võrreldes välispinna järgi paigaldamisega: a) töötlemisel jäigal või laialisurutaval tornil paigaldusviga kas puudub või on tunduvalt väiksem kui tooriku padrunis töötlemisel välispinnalt kinnitusega; b) palju lihtsam, täpsem ja odavam tsentreerimisseade kui padrun; c) tornide kasutamisega on võimalik saavutada töötlemise kõrge kontsentreerimisaste.

Varbmaterjalist või torust toorikute töötlemisel ühe paigaldusega on läheteks välispind ja tõkesti järgi seadistatav töödeldud otspind. Individuaaltooriku töötlemisel on otstorbekohane võtta läheteks eelnevalt töödeldud ava ja tooriku otspind.

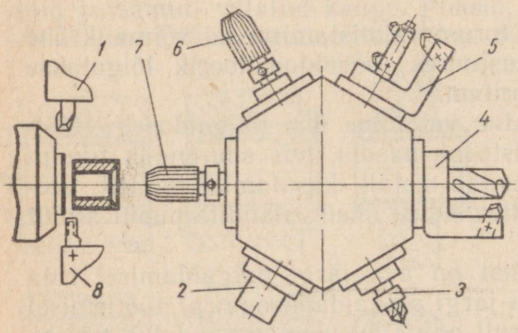
P a i g a l d u s v i g a. Paigaldusviga määratakse: varbmaterjali või toru tsangi või padrunisse kinnitamisel — tooriku radiaalse ja aksiaalse nihkumisega; individuaaltooriku kolmepakilisse padrunisse kinnitamisel valatud ava avardamiseks — tooriku radiaalse

nihkumisega; ava kammlõikamisel ja töötlemisel tsentrite vahele asetatud lahtisurutaval tornil viga puudub.

Paigaldusviga ei mõjuta diametraalsete mõõtmete täpsust, kuid mõjutab joonmõõtmete tolerantse mitteühitatud paigaldus- ja mõõtelähete korral; koos sellega tuleb suurendada töötlemisvarusid silindriliste ja otspindade töötlemiseks, mis kompenseeriksid paigaldusvigu.

Ruumilised hälbed. Ruumilisi hälbeid iseloomustatakse: pukside valmistamisel varbmaterjalist ja torust — tooriku kohaliku kõverusega ja telje külisjooksuga ava puurimisel; pukside valmistamisel individuaalsetest, valatud või pressitud toorikutest — tooriku ava telje külisjooksuga, välispindade ekstsentrilisusega ava suhtes ja otspindade mitteristseisuga ava telje suhtes.

Ruumilised hälbed suurendavad lõikeprotsessis lõikesügavust ja mõjuvad sellega tehnoloogilise süsteemi elementide elastsete deformatsioonide suurusele, kuid tolerantsi arvutusvalemisse need vahetult ei lähe; samal ajal mõjutavad ruumilised hälbed töötlemisvarude suurusi ning summeeritakse paigaldusvigadega diametraalsete mõõtmete töötlemisvarudeks ruutjuure reegli järgi ja aksiaalsete mõõtmete jaoks aritmeetiliselt.

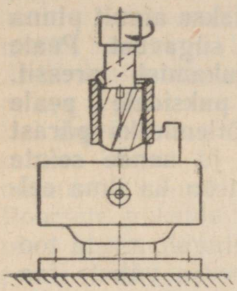


Joon. 236. Puksi töötlemise skeem revolvertreipingis: *1* — otspinna töötlemine; *2* — varbmaterjali etteandmine tõkestini; *3* — tsentreerimine puurimiseks; *4* — ava puurimine ja välispinna treimine; *5* — ava sisetreimine, välispinna treimine ja faasi lõikamine; *6* — eelnev hööritsemine; *7* — lõplik hööritsemine; *8* — mahalõikamine

Pukside töötlemise tehnoloogia ja kasutatavad seadmed. Pukside töötlemisel varbmaterjalist peetakse kinni peamiselt järgmisest tehnoloogilisest marsruudist.

1. Varbmaterjali otspinna töötlemine, materjali etteandmine tõkestini, tsentreerimine puurimiseks, ava puurimine ja välispinna treimine, ava sisetreimine või avardamine ja välispinna treimine koos faasi lõikamisega vabal otsal, eelnev hööritsemine, lõplik hööritsemine, mahalõikamine (joon. 236); see operatsioon sooritatakse revolvertreipingil, ühespindlilisel või mitmespindlilisel automaadil.

2. Faasi lõikamine puksi teisel otsal vertikaalpuurpingil või treipingil.



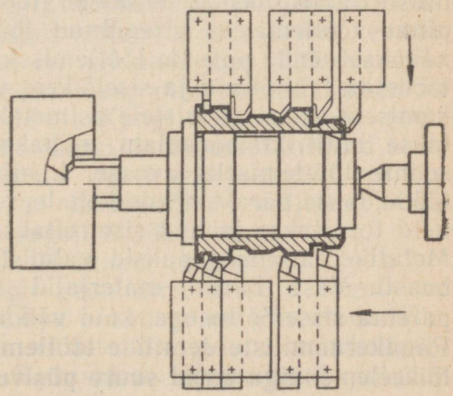
Joon. 237. Puksi avardamise ja sisemise faasi lõikamise skeem

3. Õlitamisava puurimine vertikaalpuurpingil.
4. Õlisoonte lõikamine spetsiaalsel pingil.
5. Välispinna lihvimine ümarlihvpingil või tsentriteta lihvpingil.

Pukside töötlemisel torust langeb loomulikult puurimine ära. Selle asemel toimub ava avardamine või sisetreimine; ülejäänud osas on tehnoloogiline protsess sama mis varbmaterjalist pukside töötlemisel.

Pukside töötlemisel individuaaltoorikust või sepisest on otstarbekohane kasutada järgmist tehnoloogilist marsruuti.

1. Puksi ava avardamine ja sisemise faasi lõikamine vertikaalpuurpingil (joon. 237); seoses sellega, et puksi kinnitamisel padrunisse on lähteks puksi välispind, tuleb avardamise töötlemisvaru arvutada valemi (87) järgi, kusjuures arvestatakse valatud ava külisjooksu ja paigaldusviga padrunisse kinnitamisel.
2. Ava kammlõikamine sfäärilise seaduva kettaga horisontaalkammlõikepingil. Sfäärilist seaduvat ketast kasutatakse sellepärast, et puksi otspind on töötlemata. Kammlõikamisega ava telje jääkkülisjooksu ei kõrvaldata, kuid paigaldusviga ei esine ning



Joon. 238. Astmelise välispinnaga puksi töötlemise skeem mitmeterapoolautomaadil

seepärast arvutatakse töötlemisvaru kammlõikamiseks valemist (89) ilma juurealuse liikmeta, kusjuures arvestatakse ainult pinna ebatasasuste kõrgusi ja vigastatud pinnakihi sügavust. Peale kammlõikamise kasutatakse veel ava kammtõukamist pressil. Tavaliselt jäetakse korpusesse pressitavatele puksidele peale kammlõikamist töötlemisvaru ava lõplikuks töötlemiseks pärast sissepressimist. Toorikute täpsel valmistamisel ja nende seinte hoolikal puhastamisel võib ava kammlõikamist teha ka ilma eelneva avardamiseta.

3. Välispinna ühekordne või eelnev treimine, sõltuvalt musta tooriku valmistamise täpsusest, otspinna töötlemine ja väliste faaside (sageli ka sisemiste) lõikamine mitmeterapoolautomaadis; operatsioon sooritatakse ava järgi lähtamisega laialisurutaval tornil või puksi pressimisega silindrilisele tornile (joon. 238). Läbimõõdu töötlemisvaru arvutamisel võib paigaldusviga mitte arvestada, kuid ruumiline hälve peab sisaldama endas ava teljejääknihet peale avardamist. Otspindade jaoks puudub nii paigaldusviga kui ka ruumiline hälve.

4. Välispinna puhastamine, kui enne seda toimus mitte ühekordne, vaid eelnev treimine; otspidade puhastöötlemist tehakse ainult sel juhul, kui seda tingivad pikkusmõõtme tolerants ja otspindadele esitatavad nõuded; sel juhul tehakse operatsioon mitmeterapoolautomaadis; kui treitakse ainult siledat välispinda, siis võib operatsiooni sooritada tavalises treipingis; astmelise välispinna puhul toimub operatsioon mitmeterapoolautomaadis.

Järgmised neli tehnoloogilist operatsiooni on analoogilised lattmaterjalist puksi töötlemise marsruudi 2 ... 5 operatsiooniga.

Mitmesuguste konstruktiivselt erikujuliste pukside valmistamise tehnoloogia erineb vaid välispinna mitmeterapoolautomaatides töötlemise seadistuselt. Koonilise avaga puksid avardatakse ja hõõritsetakse kooniliste lõikeriistadega, ettenihkega tõkestini. Kooniliste lõhikpukside mitmeteratöötlemisel suunatakse koonilise pinna töötlemiseks ettenähtud lõikeriista kopeeriga; peale selle nähakse nende pukside töötlemiseks ette freesimisoperatsioonid, et töödelda läbilõikeid ja siselõikeid välispinnale, samuti keerme lõikamiseks puksi otsmistele astmetele. Pukside jaoks, millesse valatakse antifriktsioonsulam, nähakse ette sisetreimisoperatsioonid soonte töötlemiseks avasse. Lahtise õmblusega keeratud puksid töödeldakse pärast nende kohalepressimist. Peale kohalepressimist neid tornitakse ja nad sisetreitakse lõplikku mõõtu.

Metallkeraamilised puksid valmistatakse peamiselt raua ja vase baasil. Vase baasil materjalid on väiksema hõõrdeteguriga, parema sissetöötlusega, kuid väiksema mehaanilise tugevusega.

Raudkeraamiliste detailide töötlemisel tagavad kõvasulamist BK8 lõikeelemendiga terad suure püsivusaja ning 1,5° ... 2° teritusnur-

gaga üleminekulõikeserva olemasolul saadakse kõrge pinnasiledusklass lõikerežiimidel $v = 200 \ldots 400$ m/min, $s = 0{,}05 \ldots 0{,}15$ mm/p, $t = 0{,}5 \ldots 1{,}2$ mm.

Antifriktsiooniliste omaduste parendamiseks immutatakse poorseid pukse peale paagutamist 110° ... 120° C temperatuurini kuumutatud avioõli vannis. Sõltuvalt puksi seina paksusest kõigub immutamise kestus 45 minutist (4-mm seinapaksuse puhul) kuni 120 minutini (9,5-mm seinapaksuse puhul).

Poorsete pukside avasid ei soovitata kuuliga või tihendava torniga kalibreerida, sest sel juhul poorid õsaliselt sulguvad ning puksi isemäärimisvõime langeb; seepärast on otstarbekohasem puksi ava töödelda peensisetreimisega. Seoses metallkeraamilise tehnoloogia kõrge täpsusega piirdutakse tavaliselt ühekordse töötlemisega.

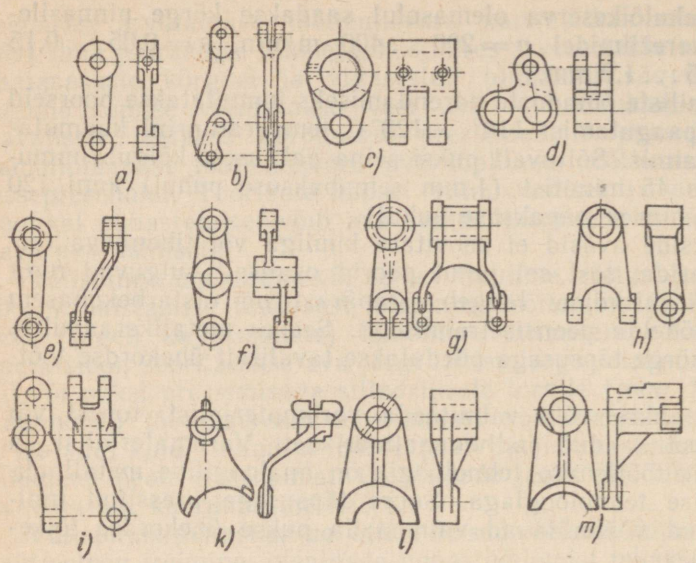
Plastmassist pukse võib valmistada varbmaterjalist, torust või pressimise teel saadud individuaaltoorikust. Varbmaterjalist ja torust pukside töötlemise tehnoloogia on analoogiline metallpukside töötlemise tehnoloogiaga. Suure täpsusega pressitud individuaaltoorikud võimaldavad valmistada pukse ühekordse lõiketöötlemisega.

P u k s i d e t e h n i l i n e k o n t r o l l. Kontrollitakse diametraalseid ja aksiaalseid mõõtmeid, pinnakaredust (peamiselt etalonide järgi), välispindade kontsentrilisust ava suhtes ja otspindade ristseisu ava telje suhtes. Välispindade ja nende kontsentrilisuse kontrollimiseks ava suhtes ning otspindade ristseisu kontrollimiseks ava telje suhtes on otstarbekohane kasutada analoogilist mitmepositsioonilist indikaatormõõteseadet, mida kasutatakse astmeliste võllide kontrollimiseks.

4. KANGID

Antud klassi detailideks on kangid, tõmmitsad, lüliplaadid, hargid, balanssiirid. Erilise grupi selles klassis moodustavad kepsud. Kangide konstruktiivsed erikujud on näidatud joon. 239. Kangide klassi detailidel on kaks või enam ava, mille teljed asetsevad paralleelselt või erinevate nurkade all. Kangi keha kujutab endast tavaliselt vähejäika varrast. Selle klassi detailidel kuuluvad töötlemisele peale põhiavade veel liistu- või hammassooned, väljete välispindades olevad kinnitusavad ja läbilõiked väljetes. Põhiavade otspindu ja kepsuvardaid sageli ei töödelda.

Kangide valmistamise põhilised tehnilised tingimused: 1) põhiavade ja nende otspindade õige geomeetrilise kuju tagamine; 2) antud mõõtmete tagamine, millest peamised on põhiavade läbimõõdud, nende telgede vahe ja väljete otspindade vahekaugus. Põhiavad töödeldakse 2. ... 3. täpsusklassi järgi; nende telgede



Joon. 239. Kangide konstruktiivsed erikujud

vahe peab olema täpsusega 0,05 ... 0,2 mm; väljete otspindade vahekaugus — 4. täpsusklassi järgi; hammassooned valmistatakse 3. ... 5. täpsusklassi järgi; 3) pindade vastastikuse asendi tagamine; kangidel tagatakse: põhiavade telgede paralleelsus 0,05 ... 0,25 mm piires 100-mm pikkuse kohta; väljete otspindade ristseis põhiavade telgede suhtes 0,1 ... 0,3 mm 100-mm raadiuse kohta; väljete otspindade omavaheline paralleelsus 0,05 ... 0,25 mm 100-mm pikkuse kohta; harkidel tagatakse käppade ja väljete otspindade ristseis põhiavade telgede suhtes 0,1 ... 0,3 mm piires 100-mm pikkuse kohta; väljete välispinna põhiavade eritelgsus tõmmitsate ja teiste aksiaalselt koormatud detailide kohta tugevustingimustest lähtudes — 0,5 ... 1,0 mm; 4) põhiavad valmistatakse tavaliselt 6. ... 7. pinnasiledusklassi järgi, väljete otspinnad — kuni 5. klassi järgi.

Võimalike kõverdumiste kõrvaldamiseks terasest ja tempermalmist toorikud õgvendatakse.

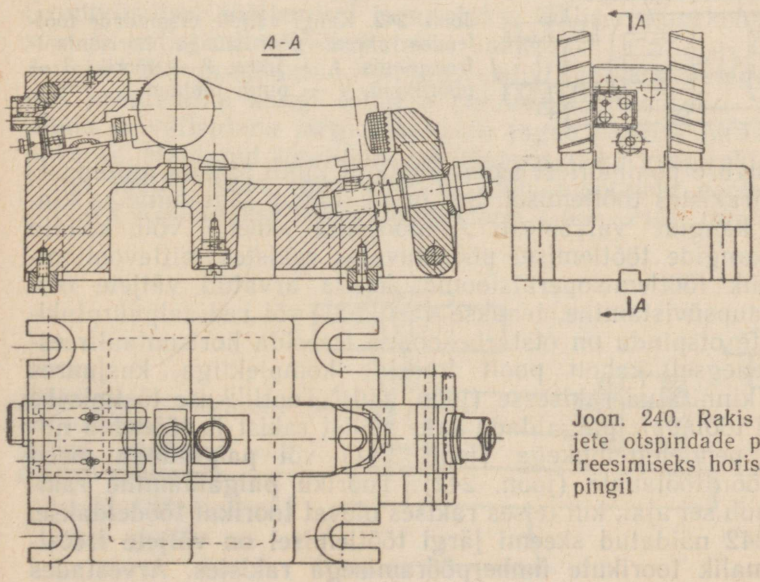
Kangide valmistamiseks kasutatakse süsinikterast 35, tempermalmi, hallmalmi ja harvem värvilisi metalle. Eriti vastutusrikkad kangid valmistatakse legeeritud terasest.

Vabasepistamise teel kangi konstruktsiooniga toorikute valmistamisel on soovitatav kasutada lihtsaid vorme, mis on kujundatud tasa- ja silindriliste pindadega. Seejuures tuleb arvestada silind-

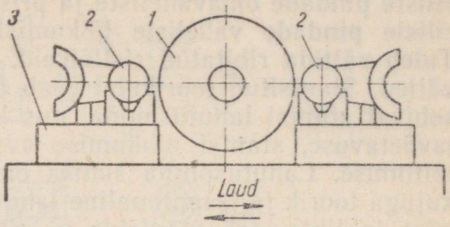
riliste pindade omavaheliste ja prismaatiliste pindade ning silindriliste pindade vaheliste lõikumiskohtade valmistamise raskust. Tuleb vältida ribitatud ristlõikeid. Eelistatavamad on ühepoolsed väljed. Stantsitud toorikutel peab detaili kuju võimaldama valida sobivat stantsi lahutuspinda, mis kindlustab sepise stantsist väljavõetavuse, stantsi nihkumise avastamise ja kujundi metalliga täitumise. Lahutuspinna suhtes on eelistatavamad sümmeetrilise kujuga toorik ja tasapinnaline lahutuspind. See kergendab stantsimist ja lihtsustab stantside valmistamist. Tuleb püüda, et ristlõigete erinevused oleksid võimalikult väikesed ning et puuduksid õhukesed seinad, kõrged ribid, pikad ja peened külgharud. Valamise teel toorikute valmistamisel on eelistatavam sirgjoonelise kujuga kang. Sellega lihtsustub mudeli ja vormi valmistamine, kuna see võimaldab kasutada ühte lahutuspinda. Detaili kuju peab olema selline, et poleks vaja teha lõikeid lahutuspinnas ega kasutada äravõetavaid mudeliosi selle vormist eraldamiseks.

Mass-, suurseeria- ja seeriatootmises töödeldakse kange erilistes rakistes, mis tagavad õiges vastastikuses asendis olevate pindade saamise, põhiavade telgede vahe ja väljete otspindade vahekauguse. Põhiavade täpsus saavutatakse mõõdulise lõikeriista kasutamisega, aga otspinnad töödeldakse freesimise, laupsüvistamise ja tasalihvimisega.

Kangide mehaanilise töötlemise marsruut ehitatakse üles järgmise plaani järgi: 1) väljete otspindade järjestikune või üheaegne tööt-

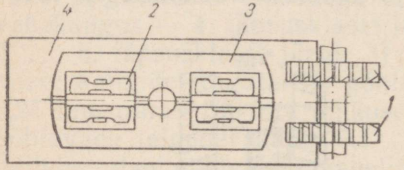


Joon. 240. Rakis kangi väljete otspindade paralleelseks freesimiseks horisontaalfreespingil



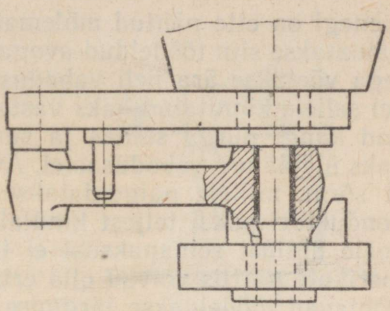
Joon. 241. Kangi väljete otspindade töötlemise skeem pendelettenihkega horisontaalfreespingil: *1* — frees; *2* — toorik; *3* — rakis

lemine (juhul kui kasutatakse toorikute vermimist, väljete otspindu sageli ei töödelda); 2) põhiavade töötlemine; 3) põhiavade liistusoonte ja hammaspindade töötlemine; 4) abiavade töötlemine, kaasa arvatud nende keermetamine (kui on vajalik). Kasutatakse ka selle marsruudi variante, mille puhul esimene ja teine operatsioon on ajaliselt vahetatud või ühendatud üheks operatsiooniks. Üksikutel töötlemisetappidel kasutatakse mitmesuguseid tehnoloogilisi lähteid. Väljete otspindade freesimisel võetakse lähteks kangi varda pind või peade pinnad; samade pindade lihvimisel võetakse lähteks vastaspoolse välje otspind, mis toetatakse magnettöölaua pinnale. Põhiavade töötlemisel võetakse lähteks väljete töödeldud otspinnad ja nende välispinnad. Töötlemise lõppetappidel kasutatakse lähteks ühte või kahte põhiava välje otspinnale toetamisega.



Joon. 242. Kangi väljete otspindade töötlemise skeem pöördlauaga horisontaalfreespingis: *1* — frees; *2* — toorik; *3* — pöördlaud; *4* — pingi töölaud

Lähte püsivuse põhimõttest saab täielikult kinni pidada automaatliinil vaherakistes töötlemisel. Sel juhul toimub lähtamine ja kinnitamine kangide varrastest. Analoogilist skeemi võib kohata väikeste kangide töötlemisel pööratavates rakistes mittevooltootmises. Kõik töötlemisoperatsioonid, kaasa arvatud väljete otspindade laupsüvistamine, tehakse vertikaal- või radiaalpuurpinkidel. Väljete otspindu on otstarbekohane freesida horisontaalfreespingil üheaegselt kahelt poolt freeside komplektiga, kusjuures toorik on kinnitatud rakisesse (joon. 240). Tootlikkuse tõstmiseks võib pingi töölauale paigaldada kaks sellist rakist ja töödelda niinimetatud pendelettenihkega (joon. 241) või paigaldada need rakised pöördtöölauale (joon. 242). Tooriku paigaldamine rakisesse toimub sel ajal, kui teises rakises olevat toorikut töödeldakse. Joonisel 242 näidatud skeemi järgi töötlemisel on väljete freesimine võimalik toorikute ümberpööramisega rakistes. Arvestades



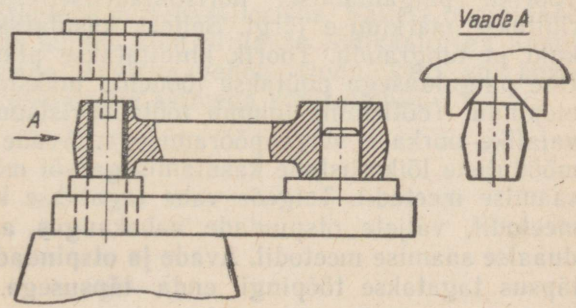
Joon. 243. Normaliseeritud juhtsammastega konduktori skeem kangi esimese põhiava töötlemiseks

kangide väikest stabiilsust, peab rakis tagama tooriku jäiga kinnituse. Palju tehnoloogilisemad on sellise konstruktsiooniga kangid, millel väljete otspinnad mõlemal küljel asuvad ühes tasapinnas; see võimaldab neid ühe läbimiga töödelda. Iseloomulikuks ruumiliseks hälbeks, mida tuleb tingimata arvestada väljete otspindade töötlemisvarude arvutamisel, on kaardumine.

Mass- ja suurseeriatootmises töödeldakse põhiavasid mitmespindlilistes agregaatpinkides, radiaal- ja vertikaalpuurpinkides mitmespindliliste peade kasutamisega või ilma nendeta, samuti kammlõikepinkides. Seeriatootmises töödeldakse põhiavad radiaal- ja vertikaalpuurpinkides lõikeriista vahetamisega ühes operatsioonis ning kiirelt vahetatavate pukside vahetamisega konduktorites.

Grupiviisilisel töötlemisel kasutatakse erilisi mitmekohalisi rakiseid ja erilist mitmelõikeriistalist häälestust.

Joonisel 243 on näidatud normaliseeritud juhtsammastega konduktori kasutamine kangi esimese põhiava töötlemiseks. Välje otspinna ja välispinna järgi lähtamine tagab peadele ühtlase seinapaksuse. Näidatud konduktor on üheaegselt ka grupirakiseks kahe kangi töötlemiseks, mis erinevad välje mõõtmete poolest. Teine põhiava töödeldakse teises konduktoris (joon. 244), mis nagu esi-



Joon. 244. Normaliseeritud juhtsammastega konduktori skeem kangi teise põhiava töötlemiseks

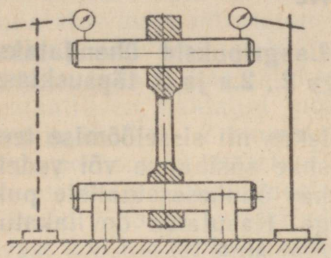
menegi on ette nähtud mõlemate kangide töötlemiseks. Kang paigaldatakse siin töödeldud avaga konduktori lähtavale sõrmele, millega võetakse ära neli vabadusastet. Konduktorplaadi allalaskmisel sellele kinnitatud kaks vastupidist väljaulatuvat osa orienteerivad kangi nurga suhtes ja suruvad selle alla, s. o. võtavad ära kaks ülejäänud vabadusastet. Avade telgedevahe tagatakse sellega, et sõrm, millele paigaldatakse kang töödeldud põhiavaga, asub konduktori puksi teljest kindlal kaugusel. Seejuures kangi teisele peale ühtlast seinapaksust ei tagata, kuna väljete telgede vahed toorikute partiis võivad olla erinevad.

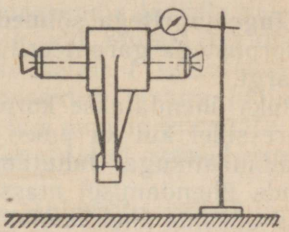
Põhiavad töödeldakse järgmise marsruudi järgi: puurimine, avardamine, ühe- või kahekordne hõõritsemine. Kasutatakse ka marsruuti: puurimine, kammlõikamine või kammtõukamine. Üle 30 mm läbimõõduga avade puhul saadakse toorikud augustatuina või valatud avadega (täppisvalamisega ja alalistesse vormidesse valamisel saadakse ka väiksema läbimõõduga avadega toorikuid väikeste kangide jaoks). Sel juhul on marsruudis puurimise asemel eelnev sisetreimine või avardamine ning puhasavardamine asendatakse puhassisetreimisega.

Avade telgede paralleelsuse suurim täpsus saavutatakse nende üheaegsel töötlemisel mitme lõikeriistaga mitmespindlilistes pinkides. Mõnevõrra väiksem täpsus saadakse järjestikusel töötlemisel, kusjuures töötlemine toimub ühe paigalduse ja kinnitusega (töötlemisel nihutatakse sisetreipingi või radiaalpuurpingi töölauda). Kõige ebatäpsem telgede paralleelsus saadakse toorikute eri pinkides ja eri rakistes töötlemisel. Telgede paralleelsuse suurema täpsuse saavutamiseks ei tohi kangi varrast kinnitamisel painutada. Avade telgede mitteparalleelsuse kõrvaldamiseks õgvendatakse mõnikord kange külmalt erilistes rakistes pressil või käsitsi. Peale õgvendamist kange kontrollitakse.

Individuaal- ja väikeseeriatootmises, kus eriliste rakiste kasutamine pole otstarbekohane, töödeldakse põhiavad ja otspinnad ühelt küljelt (mõnikord ka mõlemalt küljelt) horisontaalsisetrei- või treipinkides.

Tooriku paigaldamisel horisontaalsisetreipinkides töötlemiseks rihitakse märkimise järgi. Selleks kasutatakse prismasid, nurgikuid ja tungraudu. Toorik kinnitatakse plaatide ja poltide abil. Ühe paigaldusega püütakse töödelda maksimaalne arv avasid ja otspindu. Töötlemine toimub töölaua ristsuunas nihutamisega ja vajalike nurkade võrra pööramisega. Avade täpsus saavutatakse mõõduliste lõikeriistade kasutamisega või mõõtmete individuaalse saamise meetodil. Telgede vahe tagatakse koordinaatsisetreimise meetodil, väljete otspindade vahekaugus aga mõõtmete individuaalse saamise meetodil. Avade ja otspindade omavahelise asendi täpsus tagatakse tööpingi enda täpsusega. See on põhiliseks





Joon. 245. Kangi põhiavade telgede paralleelsuse kontrollimise skeem

Joon. 246. Välje otspinna ristseisu kontrollimise skeem põhiava telje suhtes

operatsiooniks. Järgmistel operatsioonidel töödeldakse pinnad, mida pole võimalik töödelda sisetreimisoperatsioonidega. Nende pindade töötlemine toimub trei-, frees- või puurpinkides, kusjuures paigaldamiseks ja rihtimiseks kasutatakse juba töödeldud pindu.

Kange kontrollitakse mass- ja suurseeriatootmises eriliste kontrollrakiste abil, teistes tootmistüüpides aga universaalsete mõõtmisvahendite abil. Väljete otspindade tasapinnalisust kontrollitakse kontrollplaadil kombitsa järgi. Avade telgede vahe kontrollimiseks asetatakse avadesse siledad kontrolltornid ning mõõdetakse mikrokruvimõõdikuga või mikromeetrilise hargiga tornide vahekaugust. Kui on teada tornide läbimõõdud, saab kergesti välja arvutada avade telgede vahe. Avade samatelgsust kontrollitakse sileda kontrollvõlliga, mis peab takistuseta minema mõlemasse avasse. Avade telgede paralleelsust kontrollitakse järgmiselt. Kangi avadesse asetatakse kontrollvõllid (joon. 245). Kang asetatakse vertikaalsesse asendisse prismadele, nagu näidatud joonisel. Kangi kiigutamisega alumisel võllil registreeritakse kangi vertikaalsele asendile vastav indikaatorinäit. Mõlemalt poolt mõõdetakse ühesugusel kaugusel väljete otspindadest. Indikaatori näitude vahe ongi avade telgede mitteparalleelsus. Väljete otspindade ristseisu avade telgede suhtes kontrollitakse indikaatoriga kangi asetamisel kontrolltornile tsentrite vahele (joon. 246) või kombitsa abil, kusjuures kasutatakse astmega kontrollvõlli.

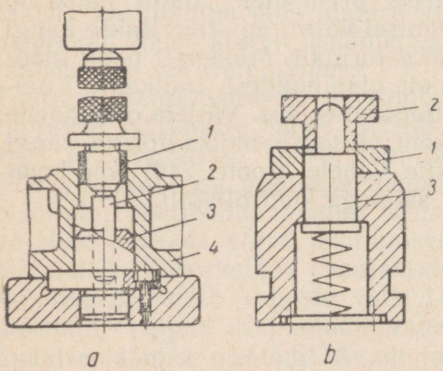
5. MASINATE TÜÜPSÕLMEDE KOOSTAMINE

Liugelaagritega sõlmede koostamine. Laagripuksid ühendatakse korpustega garanteeritud pinguga istuga 2., 2.a ja 3. täpsusklassi järgi.

Puks ühendatakse korpusega külmas olekus nii sisselöömise teel, pressidel kui ka puksi jahutamisega tahke süsihappe või vedela lämmastikuga. Jahutamine on otstarbekas õhukeseseinaliste pukside ühendamisel massiivsete korpustega. Kasutama on hakatud ka pukside ühendamist lõtkuga istuga liimi abil.

Kaardumiste, kriimustuste ja ebaühtlase deformeerumise vältimiseks sissepressimisel on vaja puksid korpuse ava suhtes täpselt tsentreerida. Selleks kasutatakse pukside sissepressimisel spetsiaalseid rakiseid. Üks taoline rakis on toodud joon. 247, *a*. Puks *1* asetatakse toe *3* poolt juhitud torni *2* lihvitud silindrilisele osale. Pressi spindli laskumisel liigub torn *2* koos puksiga ja pressib viimase korpuse avasse *4*. Pärast sissepressimist töödeldakse puksi ava üle peensisetreimisega, hõõritsemisega, torniga või kuuliga kalibreerimisega või ülerullimisega. Viimaseid töötlemisviise ei soovitata kasutada metallkeraamiliste pukside puhul, kuna kalibreerimisel ja ülerullimisel suletakse selle materjali poorid. Samateljeliste pukside avad treitakse pärast pressimist täpse samateljelisuse tagamiseks üle ühe kinnitusega või hõõritsetakse pikendatud või koostatud hõõritsaga. Pukside telgede õige asendi tagamiseks tuleb neid treida konduktorite abil. Enne liugepindade lõplikku töötlemist puuritakse õlitusava. Kui puksidel on tugiäärikud, siis tuleb nende otsad täpse ristseisu tagamiseks treida sellesama kinnituse juures kui avadki.

Laagripuksidega sõlmede koostamise automatiseerimine ei tekita raskusi, kui puksid on lihtsa konstruktsiooniga ja suhteliselt väi-



Joon. 247. Rakis pukside pressimiseks

keste mõõtmetega. Koostatavad detailid antakse ette punkrist ja suunatakse koostamisautomaadi tööpositsioonile. Viltujooksu vältimiseks pressimisel tuleb ühendusdetailid lähteasendis täpselt paigaldada. Selleks kasutatakse spetsiaalseid rakiseid, millest üks on skemaatiliselt näidatud joon. 247, *b*. Haarav detail *1* asetatakse sõrmele *3*. Puks *2* suunatakse punkrist ümardatud otsaga juhtsõrme peenemale astmele. Paremaks juhtimiseks peavad ühendatavate detailide istupindadel olema faasid, ümardatud servad või väikesed vööd garanteeritud lõtkudega.

Pärast koostamist kontrollitakse pukside ava läbimõõtu, selle kuju ning pukside samatelgsust. Pukside istutihedust kontrollitakse detailide eelneva mõõtmisega või siis hinnatakse seda kokkupressimiseks vajaliku jõu järgi.

Paksuseinalisi laagriliudu iseloomustatakse suhtega

$$K = \frac{S}{D} = 0{,}065 \ldots 0{,}095,$$

kus S — laagrisulamiga katmata liua seina paksus; D — liua välisläbimõõt.

Laagriliuad paigaldatakse korpusesse ja kaanesse kas väikese pinguga (20 ... 60 μm) või liug-istuga. Fikseeritakse nad äärikute ja seadetihvtidega.

Laagriliudade normaalne töö tagatakse nende välispindade ühtlase kokkupuutega kogu pesa pinnaga. Ebarahuldaval kokkupuutel halveneb samuti soojusülekanne liualt korpusele. Sellepärast valitakse liuad hoolikalt vastavalt korpuse pesadele. Analoogiliselt valitakse ka laagrikaaned; nad peavad tihvtidele minema vabalt, kuid seejuures ilma «loksuta», kõige parem on kergelt lüüa puuvasaraga.

Laagrite koostamisel peavad laagri otspinnad korpusega ja liudade poolituspinnad tihedalt, ilma lõtkuta kokku puutuma.

Mitmetoeliste võllide laagrite samatelgsust kontrollitakse tornidega. Suurte korpuste koostamisel kontrollitakse avade samatelgsust pingulitõmmatud traadi ja kõrgusnihkmõõdiku või kollimaatori ja teleskoobi abil.

Individuaal- ja väikeseeriatootmises tehakse laagriliudadega sõlmede koostamisel rida sobitustöid. Algul sobitatakse treitud pesadesse värvi järgi alumised liuad. Seejärel asetatakse neile lõplikult töödeldud võll, mille laagrikaelad on kaetud õhukese värvikihiga. Kõigepealt kaabitsetakse alumiste liudade pinnad, et saavutada kontaktijälgede ühtlast jaotust 120° nurgaga kaarel (jälgede arv pinnal 25 × 25 mm on harilikult 9 ... 12). Pärast seda kaabitsetakse ülemiste liudade pinnad. Selleks tuleb laagrid koostada, asetades kaane alla vahetükid ja kinnitades mutrid dünamomeetrilise võtmega. Pärast võlli pööramist kahe-kolme

pöörde võrra võetakse laagrid lahti ja kaabitsetakse ülemiste liudade värvised kohad. Operatsiooni korratakse seni, kuni on saavutatud rahuldav kontaktijälgede jagunemine.

Pärast sobitamist pestakse võlli kaelad ja liuad puhtaks, puhastatakse õli juurdevoolu avad, puhastatakse suruõhuga kokkupuutuvad elemendid, määritakse ja asetatakse võll kohale, keeratakse kinni ning splinditakse kõik mutrid. Mutrid keeratakse kinni paarikaupa. Alustatakse keskelt.

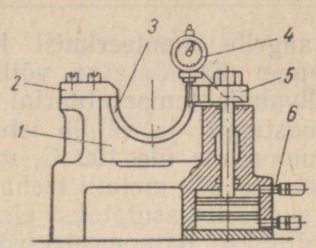
Liugelaagritesse monteeritud võlli kontrollitakse selle käsitsi pööramisega teatud pikkusega kangi abil. Raskendatud pööramise korral määratakse kindlaks võlli pöörlemist takistav laager. Seda tehakse laagrikaante kinnitusmutrite järjestikuse järeleandmisega ja takistava laagri kaane alla vahetüki asetamisega. Reguleerimine kinnitusmutrite järeleandmisega on keelatud. Radiaallõtku suuruse võib kindlaks teha ülemise liua ja võlli vahele kalibreeritud messinglehtede asetamisega ja võlli pööramisega seejuures. Lõtku suurust reguleeritakse vahetükkide komplektiga. Komplekti paksus määratakse kindlaks masina ekspluateerimisel tekkiva lõtku kompenseerimist arvestades. Selleks lülitatakse komplekti vahetükid paksusega 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,5 ja 0,8 mm.

Telglõtku kontrollitakse lehtkaliibritega või indikaatoriga. Selleks nihutatakse võlli lõtku piires. Tavaliselt kõigub telglõtk 0,1 ... 0,8 mm piires.

Mass- ja suurseeriatootmises sobitustöid koostamisel ei tehta, kuna liuad valmistatakse siis vahetatavatena. Koostamise kord on järgmine: alumiste liudade paigaldamine, nende liugepindade määrimine, võlli paigaldamine, ülemiste liudade ja kaante paigaldamine koos vajaliku arvu vahetükkide asetamisega (või ilma nendeta), mutrite eelnev ja lõplik kinnikeeramine dünamomeetrilise võtmega või piirmomendivõtmega, pöörlemise kerguse kontroll ja splintimine.

Õhukeseseinalised liuad ($K = S/D = 0{,}025 \ldots 0{,}045$) valmistatakse bimetall-lindist. Neid kasutatakse laialt auto-, traktori-, aviomootoreis jt. masinais. Lindi paksus on 1 kuni 2,5 mm. Valatud antifriktsioonsulami kihi paksus on 0,4 ... 0,9 mm. Nihkumise vältimiseks fikseeritakse liuad neis väljastantsitud keelekese abil, mis läheb vastavasse süvendisse laagripesas.

Laagriliuad valmistatakse vahetatavatena. Nende pead tööldakse 1. täpsusklassi järgi. Koonilisus ja ovaalsus ei tohi ületada 0,01 ... 0,015 mm 100-mm läbimõõdu kohta. Sellepärast liudu ei sobitata laagripesadesse, vaid piirdutakse nende valimisega. Seejuures kontrollitakse värvi järgi nende kontaktiühtlust pesades. Seda tehakse erirakises standardsel koormusel. Seejuures peab liudade keskosa olema värvitud mitte vähem kui 90% ja ülejäänud mitte vähem kui 75 ... 85%.



Joon. 248. Rakis õhukeseseinaliste liudade kõrguse kontrollimiseks

Õhukeseseinaliste liudade koostamise omapäraks on ping, mis tekib nende asetamisel pessa; seejuures ulatuvad pessa surutud liua servad laagri lahutuspinnast kõrgemale 50 ... 100 μm. Kõrgemale ulatuvad servad tekitavad mutrite kinnikeeramisel liuale pesas press-istu. Niisugustes tingimustes on õhukeseseinaliste liudade kõrguse kontrollimine eriti tähtis. Mitteküllaldane kõrgus ei kindlusta vajalikku pingu ja liua tihedat istu pesas, mis halvendab soojusülekannet liualt korpusele. Liua servade ülemäärane kõrgus põhjustab nende deformeerumist.

Õhukeseseinaliste liudade kõrgust kontrollitakse spetsiaalses rakises (joon. 248). Rakises on etalonpesa *1*, millesse asetatakse kontrollitav liud *3*. Liua üks serv toetub plaadi *2* vastu ja teist serva surutakse pneumoseadme *6* plaadiga *5* jõuga, mis on võrdne laagri mutrite kinnitusjõuga. Mõõdetakse rakise korpusele asetatud indikaatoriga *4*. Indikaator seatakse üles etaloni järgi.

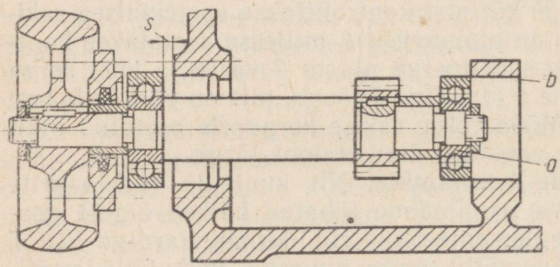
Veerelaagritega sõlmede koostamine. Nii kuul- ja rull-laagrite istud kui ka võlli ja ava istupindade lubatud hälbed õigest geomeetrilisest kujust on reglementeeritud riikliku standardiga ГОСТ 3325-55. Kui laager istub võllil suure pinguga, võib lõtk laagrivõrude ja veerekehade vahel väheneda ja viimased võivad isegi kinni kiilduda. Ligikaudsete arvutuste puhul loetakse, et lõtk väheneb sisevõru pressimisel võllile (0,55 ... 0,6)δ ja välisvõru pressimisel korpusesse (0,65 ... 0,7)δ, kus δ — ping mm. Lõtkude määramine on väga tähtis, kuna väikeste ja suurte lõtkude puhul on laagrite kulumine suurem. Kuulide ja rullide kinnikiildumise vältimiseks tuleb arvestada ka sõlme võimalikke soojuslikke deformatsioone.

Laagri kohalemonteerimisel tuleb jõud rakendada sellele võrule, mille ist on pinguga.

Laagrivõrude kaardumise ning veereteede ja kuulide rikkumise vältimiseks monteeritakse kuullaagrid võllile torni abil. Monteerida võib nii pressil kui ka vasaraga lüües. Mõlemal juhul on väga tähtis jõu kontsentriline rakendamine.

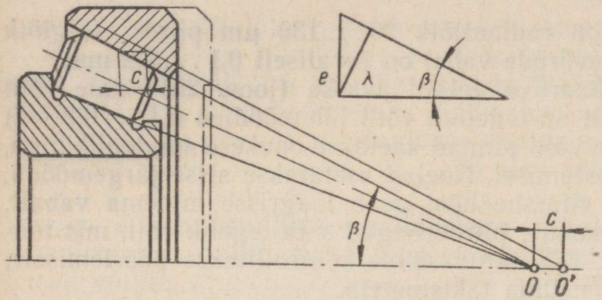
Suurseeria- ja masstootmises kasutatakse laagrisõlmede koostamiseks mitmesuguseid mehhaniseeritud rakiseid ja seadmeid.

Laagrite monteerimist kergendab soojuslik mõjustamine. Kui laager ühendatakse võlliga, siis soovitatakse teda kuumutada õlivannis temperatuurini 80...90° C. Kuumutamine kergendab koostamist ja väldib istupinna rikkumist võllil. Laagrit ei tohi kuumutada üle 100° C, muidu võivad halveneda laagrivõrude ja veerekehade metalli mehaanikalised omadused.
Tavaliselt kasutatakse elektriküttega õlivanne. Temperatuuri kontrollitakse termomeetri või termopaariga. Vajalikku temperatuuri võib hoida automaatselt.
Korpust kuumutatakse õlivannis (kui gabariidid võimaldavad) või kuuma õhujoaga.
Laagri istu kvaliteeti võllil kontrollitakse käsitsipööramisega; seejuures peab käik olema sujuv, ilma takistusteta. Radiaal- või telglõtku olemasolu kontrollitakse käsitsikiigutamisega. Vajaduse korral võib lõtku kontrollida indikaatoriga seadmel. Kui võllil on äärik või aste, kontrollitakse lehtkaliibri abil laagrivõru otsa kontakti tihedust sellega. Mõnikord lubatakse lõtku kuni 50 μm kaare kohta, mis ei ületa võlli 0,4 ümbermõõtu.



Joon. 249. Veerelaagritega sõlme koostamise tehnoloogiline skeem: *a* — kinnis-ist; *b* — liug-ist; *S* — lõtk koostamise algmomendil

Suurseeria- ja masstootmises kindlustatakse veerelaagrite sõlmede koostamise kvaliteet sõlme üksikutele elementidele esitatavate tehniliste tingimustega ja koostamise tehnoloogilise protsessi stabiilsusega.
Kvaliteetse koostamise ja töömahu vähendamise tagamiseks on veerelaagritega konstruktsioonides vaja ette näha laagrite järjestikku ühendamine korpuse avadega. Laagrite monteerimisel ühele võllile tuleb telgsuunas fikseerida ainult üks nendest. Teised võivad koostamise käigus telgsuunas nihkuda. Seejuures tuleb eelistada laagri sisevõru ühendust pöörleva detailiga kinnis-istuga ja välisvõru ühendust liikumatu detailiga liug-istuga (joon. 249).



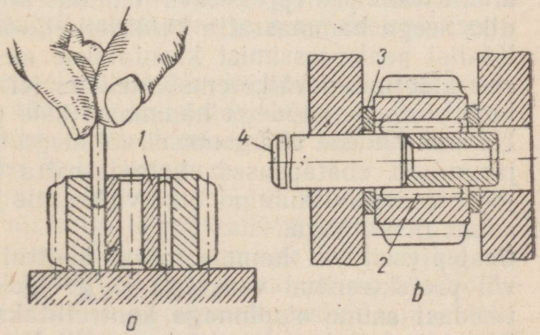
Joon. 250. Koonilise rull-laagri radiaallõtku reguleerimise skeem

Koonilistel rull-laagritel monteeritakse võrud eraldi; sisevõru koos rullide ja separaatoriga pressitakse võllile ja välisvõru asetatakse korpusesse. Radiaallõtku reguleeritakse niisuguses laagris välisvõru teljesuunalise nihutamisega suuruse c võrra (joon. 250). Radiaallõtku e, survesuunalise lõtku λ ja võru teljesuunalise nihkumise c vahel kehtivad järgmised seosed:

$e = c \operatorname{tg} \beta$;
$\lambda = c \sin \beta$.

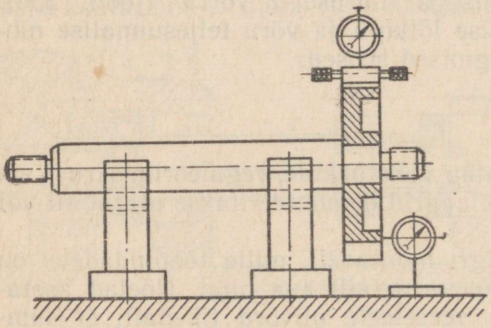
Praktiliselt reguleeritakse lõtku vahetükkide, reguleerimiskruvi või reguleerimismutri abil. Veerelaagrid demonteeritakse pressi all või spetsiaalse tõmmitsaga.

Teatud omapära on nõellaagri montaažil, mille tööpindadeks on võlli ja sellega ühenduses oleva detaili ava pind. Nõelad asetatakse viltuseisu vältimiseks veereteele niivõrd tihedalt, et summaarne lõtk jaotusringjoonel moodustab kõigest 1,5 ... 2,0 mm. Radiaallõtk on nõellaagrites umbes niisama suur kui samamõõtmelistes liugelaagrites. Nii näiteks veereteede läbimõõtude juu-



Joon. 251. Nõellaagri koostamise skeem vale võlli abil: *a* — nõelte kohaleasetamine; *b* — võlli paigaldamine

res 25...100 mm on radiaallõtk 20...130 μm piires. Telglõtk nõelte otste ja piirdevõrude vahel on tavaliselt 0,1...0,2 mm.
Nõelad asetatakse haarava detaili avasse (joon. 251) vale võlli *1* abil, mille läbimõõt on tegeliku võlli läbimõõdust 0,1...0,2 mm väiksem. Ava ja vale võlli pinnad kaetakse õhukese solidoolikihiga, mis hoiab nõelu koostamisel. Nõelad asetatakse sisse järgemööda, 2...3 tk. korraga; viimane nõel peab laagrisse minema vabalt. Seejärel asetatakse kohale piirderõngad *3* ja tegelik võll, mis tõukab vale võlli välja. Koostatud sõlme kontrollitakse pöörlemisele, mis peab olema vaba, ilma takistusteta.
Hammas- ja tiguülekannete koostamine. Hammasülekannete koostamine seisneb hammasrataste ühendamises võllidega, hammasratastega võllide paigutamises korpusesse ja hammasrataste hambumise reguleerimises.
Hammasrattad ühendatakse võllidega tavaliselt väikese pinguga. Nii näiteks ühendatakse sisepõlemismootoris hammasrattad pinguga 23...35 μm.



Joon. 252. Võlliga ühendatud hammasratta radiaalse ja otsviskumise kontrollimise skeem

Hammasrattad ühendatakse tsentreerivate pindadega pressi all spetsiaalsete rakiste abil. Rakiselt nõutakse peamiselt seda, et ta kindlustaks pealepressitava hammasratta täpse suunamise ja väldiks seega hammasratta kaldasendit võlli kaelal.
Käsitsi pealepressimist kasutatakse ainult individuaal- ja väikeseeriatootmises väikesemõõtmeliste, termiliselt töötlemata ja väikese pinguga istudega hammasrataste puhul.
Hammasrataste ühendamisel võllidega esinevad kõige sagedamini järgmised ebatäpsused: hammasratta kiikumine võllil, algringjoone radiaalviskumine, otsa viskumine ja ebaühtlane kontakt võlli astme otspinnaga.
Pealepressitavat hammasratast kontrollitakse kiikumisele pehme või protekteeritud vasaraga kerge ülekloppimise teel. Kontakti tihedust astme otspinnaga kontrollitakse lehtkaliibriga.
Radiaal- ja telgviskumist kontrollitakse indikaatorilistes kontroll-

rakistes või paigaldamisega prismadele (joon. 252). Hammaste vahele asetatakse silindriline kaliiber ja märgitakse indikaatori osuti näidud. Pöörates võlli ja asetades kaliibrit ümber iga kahe hamba tagant, tehakse kindlaks indikaatori näitude vahe, mis iseloomustab hammasvöö algringjoone radiaalviskumist. Harilikult lubatakse seda viskumist 25...75 μm piirides. Otsviskumist lubatakse harilikult 0,10...0,15 mm piires. Kui tekkinud viskumine ületab tehniliste tingimustega lubatud piirid, võetakse hammasratas võllilt maha, pööratakse pisut ning pressitakse uuesti võllile.

Suurseeria- ja masstootmises võib hammasratta istu kvaliteeti kontrollida etalonhammasrattaga hambumisel indikaatorilises rakises. Pöörlemisel põhjustavad hambumise ebatäpsused etaloni nihkumist, mida mõõdetakse indikaatoriga. Sõlme võib samaaegselt kontrollida ka otsviskumisele.

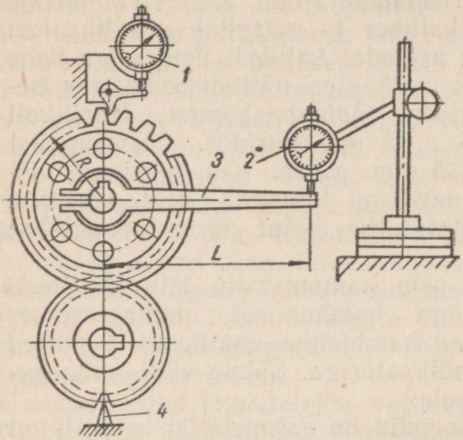
Kui koostatava sõlme kõik elemendid on valmistatud kehtestatud tolerantside piires, siis hammasratastega võllide paigutamisel korpusesse vastab harilikult ka hambumine tehnilistele nõuetele. Kuid niisuguste tingimuste juures võivad hälvete ebasoodsa kombinatsiooni tagajärjel tekkida ka hambumise defektid, kuigi ükski hälve ei ületa tolerantsi.

Hambumise kõige tüüpilisemateks defektideks on: a) ülemäärane lõtk hammaste vahel kogu hammasvöö ulatuses, mis tekib telgede vahe suurima plusshälbe ja hamba paksuse suurima miinushälbe üheaegse olemasolu tõttu; b) mitteküllaldane lõtk hammaste vahel kogu hammasvöö ulatuses, mis tekib hammasrataste telgede vahe suurima miinushälbe ja hamba paksuse suurima plusshälbe üheaegse olemasolu tõttu; c) ebaühtlane lõtk hammaste vahel hammasvöö algringjoone ekstsentrilisuse ja ühe hammasratta hammaste ebaühtlase paksuse tõttu; d) hammasratta otspinna viskumine hambumisel selle ava ja korpuse ava kiivsuse tõttu.

Neid puudusi on võimalik likvideerida hammasrataste valikuga, ühe hammasratta vahetamisega, puksi vahetamisega hammasrattas, korpuses oleva puksi või laagri vahetamise ja seest ületreimisega jne.

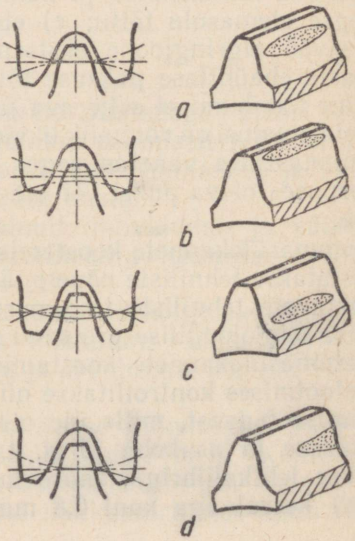
Hammasülekannete koostamisel suurseeria- ja masstootmises kindlustatakse tehniliste nõuete täitmine koostatava sõlme elementidele vastavate tehniliste tingimuste kehtestamisega ja samuti koostamise tehnoloogilise protsessi stabiilsusega.

Hammasülekannete koostamisel individuaal-, väikeseeria- ja seeriatootmises kontrollitakse nii külg- ja radiaallõtkusid kui ka hambumise õigsust, mille üle otsustatakse hammaste kontaktijälgede suuruse ja asukoha järgi. Lõtku suurust hambumises kontrollitakse lehtkaliibriga, suure mooduli (peamiselt raskemasinaehituses) korral aga kuni 0,8 mm läbimõõduga tinatraadi hammaste



Joon. 253. Külglõtku mõõtmise skeem: *1*, *2* — indikaatorid; *3* — pöördkang; *4* — fiksaator

vahelt läbivaltsimisega ja selliselt muljutud traadi paksuse mõõtmisega kruvimõõdikuga. Külglõtku ühtluse kontrollimiseks hamba pikkuses asetatakse kolm-neli traati erinevatele kohtadele. Peale selle kasutatakse ka spetsiaalset rakist, mille põhimõtteline skeem on näidatud joon. 253. Külglõtku suurus määratakse kindlaks «surnud käigu» mõõtmisega, kusjuures arvestatakse pöördkangi *3* pikkuse *L* ja hammasratta algringjoone raadiuse *R* vahet. Külglõtku mõõdetakse ka vahetult sõlme korpusele kinnitatud indikaatoriga.



Joon. 254. Hammasrataste õige ja ebaõige hambumine koostamisel: *a* — õige hambumine; *b* — suurendatud lõtk kogu hammasvöö ulatuses; *c* — mitteküllaldane lõtk kogu hammasvöö ulatuses; *d* — hammasratta ava või võlli kaela viltuseis

Hambumise kvaliteeti kontrollitakse ka värvi järgi vastavalt kehtivate standarditega hammaspaaridele püstitatud kontaktinormidele. Nende normidega nähakse ette, et õhukese lasuurikorraga kaetud väiksema ratta pöörlemisel peavad paarisratta hammaste külgpinnad kattuma värvijälgedega keskelt (joon. 254).

Kooniliste hammaspaaride koostamisel saadakse vajalik hammastevaheline lõtk hambumise reguleerimisega, s. o. hammasrataste teljesuunalise nihutamisega; seejuures nihutatakse kas ühte või mõlemat ratast. Reguleeritakse kas vahetükkide komplektiga või pukside nihutamisega spetsiaalsete reguleerimismutrite abil.

Reguleerimiseks kasutatakse terasest ja messingist vahetükke paksusega 0,05 ... 0,15 mm; seejuures asetatakse vahetükkide komplekt hammasrataste või vaherataste tugipindade alla. Vahetükkide komplektide mõõtmete nomenklatuur ja nende mõõtmed määratakse mõõtahelate teooria abil.

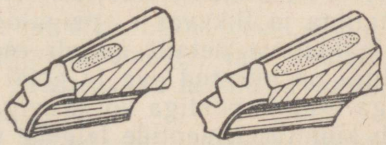
Mutreid reguleeritakse nende pööramisega; seejuures ühte mutrit pingutatakse, teist lastakse järele, mille tulemusena puks nihutab võlli koos hammasrattaga telje suunas, lähendades või eemaldades seda paarisrattast. Pärast vajaliku lõtku kättesaamist fikseeritakse sõlm antud kohas nendesamade mutrite abil. Teatavasti on lõtk C ja hammasratta telgnihutus x hambumisnurga α ja algkoormuse nurga φ puhul seotud sõltuvusega

$$C = x\,2 \sin \alpha \sin \varphi.$$

Juhul kui hammasratta telgnihutus on seotud teiste elementide omavahelise asetuse muutusega, mis ei ole lubatud, tuleb reguleerida nii, et nende elementide omavaheline asetus jääks muutumatuks.

Kontaktijälgede järgi, mis saadakse koonusülekannete värvi järgi kontrollimisel, saab otsustada hambumises oleva lõtku vastuvõetava või mitteküllaldase suuruse, hammasrataste telgede viltuseisu ja teiste ebatäpsuste üle.

Koonushammasrataste kontrollimisel värvi järgi peab kontaktijälg koormuseta pöörlemisel asetsema lähemal hamba peenemale otsale — selle servast pikkuse suunas 1,5 ... 3 mm ja kõrguse suunas 0,4 ... 1,0 mm kaugusel (joon. 255, *a*). Seoses hamba deformeerumisega koormuse all töötamisel nihkub kontaktijälg hamba jämeda-



Joon. 255. Koonushammasrataste kontaktijäljed värviga kontrollimisel

ma otsa poole, mis kindlustab kontakti soodsama jagunemise hammastel (joon. 255, *b*). Koonushammasrataste kontaktinormid on teatud määral väiksemad kui silindrilistel hammasratastel.
Tiguülekande üldkoostamisel kontrollitakse kontaktijälje asendi õigsust. Halb kontakt hambumises võib olla telgede vahe hälvete ja teo ning tiguratta telgede ristseisu hälvete tagajärg. Tarvis on ka kontrollida teo telje asendit tiguratta kesktasapinna suhtes ja vajaduse korral reguleerida seda tiguratta teljesuunalise nihutamisega, misjärel see fikseeritakse vajalikus kohas.
Analoogiliselt hammasülekannetega kontrollitakse ka tiguülekande külglõtku («surnud käiku»). Tiguülekande käitamisel edasiantava pöördemomendi suuruse ja selle ühtluse kontrollimisega tiguratta täispöördel dünamomeetri abil selgitatakse välja tiguratta istu õigsus võllil (ilma ekstsentrilisuseta) ja ka teo viskumine.
Koostatud kiirekäigulisi jõuülekande hammasülekandeid töötatakse tihti sisse ülekantava momendi mõõtmisega, seejuures saadakse parem sissetöötlus, ülekande kasutegur suureneb ja koormus jaguneb paremini. Samaaegselt kontrollitakse sõlme koostamise õigsust kuumenemise ja müra järgi.
Sissetöötamine toimub spetsiaalsetel seadmetel ja stendidel. Käesoleval ajal hakatakse üha rohkem kasutama elektrilisi katsestende, mis annavad pidurdusmomendist saadava energia tagasi elektrivõrku.
Müra näitab sõlme koostamisel tekkinud mitmete ebatäpsuste olemasolu. Müra taset määratakse müramõõdikuga ja hinnatakse detsibellides.
Tasapinnaliste liidete koostamine. Tasapindadega kontaktis olevate detailide omavaheline asend määratakse tavaliselt ühendatavate detailide konstruktiivsete elementidega: tsentreerivate äärikutega, juhttasapindadega, liistudega jms. Real juhtudel aga ei kindlusta töötlemistehnoloogia paigaldatava ja lähtedetaili tööpindade omavahelist asendit vajaliku täpsusega (peamiselt individuaal- ja väikeseeriatootmises). Seejuures kasutatakse koostamisel liidetavate detailide asendi rihtimist.
Enamasti rihitakse kinnitusavade ja poltide ning kruvide või tihvtide vaheliste lõtkude arvel. Lõplikult kinnitatakse mutrid pärast rihtimist, misjärel puuritakse ja hõõritsetakse detailide fikseerimiseks kasutatavate kontrolltihvtide avad. Sageli lahtivõetavates liidetes kasutatakse tihvtidel kahesugust istu: liikumatut — lähtedetailiga ja liikuvat — paigaldatava detailiga.
Paigaldatava detaili asendi reguleerimise võimalus lähtedetaili suhtes on piiratud ava ja poldi ning kruvi ja tihvti vahelise lõtkuga. Mitme poldiga või kruviga kinnitamisel see võimalus väheneb kinnituselementide telgede vahede tolerantside tõttu.
Koostamisel paigaldatava detaili rihtimisega kasutatakse ühte või

kahte ava, ülejäänud avad aga puuritakse lähtedetaili pärast rihtimist. Lõikeriista juhtimiseks kasutatakse paigaldatavas detailis olevaid avasid.

Detailide ühenduskohtade tihedus saavutatakse tihendite abil. Tavaliselt kasutatakse ühtlasest materjalist (paber, kartong, asbest, kummi jms.) või kombineeritud (asbestist südamikuga metallist, kummeeritud asbestist jt.) elastseid tihendeid. Tihendi paksuse ebaühtlust lubatakse mitte rohkem kui 0,15 mm kogu pikkuse kohta. Mõnikord kasutatakse tihendite asemel spetsiaalseid pastasid ja mastikseid.

Ühenduspindade tihedust võib saavutada ka ilma tihenditeta pindade hoolika töötlemise tulemusena, mis kindlustab kõrvalekalded tasapinnalisusest 20...40 μm piires ja 6. ... 7. pinnasiledusklassi.

Ühendatavate detailide kinnitamisel tagatakse liite tihedus mutrite ühtlase kinnikeeramisega, mida tehakse kindlas järjekorras.

Neet-, joote- ja liimliidete valmistamise tehnoloogia. Neetidega ühendamise operatsioonid on töömahukad, kuna nad koosnevad paljudest siiretest: puurimine või avade stantsimine, nende samaaegne hõõritsemine, needi pea süvise või faasi töötlemine, neetide paigaldamine ja sulgeva pea kujundamine (neetimine).

Avade asendi täpsuse ja nende valmistamise tootlikkuse tõstmine detailide kokkuneetimisel kindlustatakse pealeasetatavate konduktorite, mitmespindliliste puurpinkide või puurpeade (väiksemate detailide puhul) kasutamisega ja üheaegselt mitme templiga stantsimisega.

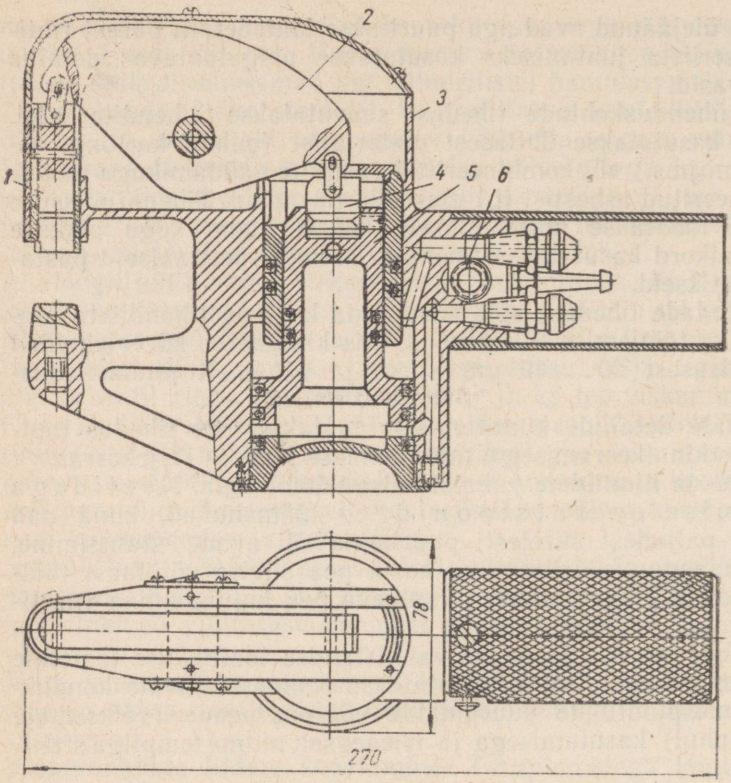
Neediavade läbimõõdud tuleb valida sõltuvalt koostamise nõutavast täpsusest vastavalt ГОСТ-ile 885-64.

Kuumneetimisel kuumutatakse neeti (terastele Ст. 2 ja Ст. 3 on temperatuur 1050...1100° C) söe-, nafta-, gaasi- või elektriahjudes. Kasutatakse ka elektrikontaktkuumutust.

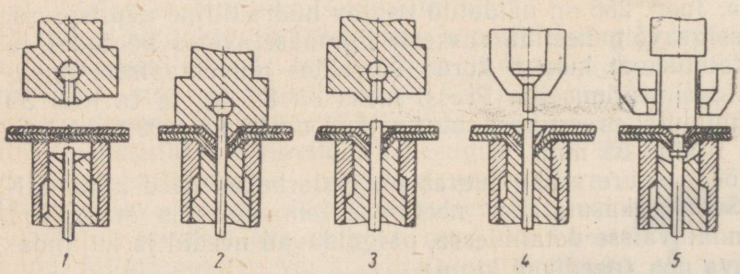
Needitakse neetimisvasarate, klambrite, neetimismasinate ja automaatidega. Joon. 256 on näidatud kantav hüdrauliline näpitspress. Selle pressiga võib neetida raskesti ligipääsetavates kohtades ja tõsta töötootlikkust kuni 5 korda võrreldes universaalsete pneumovasaratega neetimisega. Pressi mass on 8,5 kg ja ta teeb 30 töökäiku minutis; pressimise suurim jõud on 90 kN (9000 kG) ja klambrite ulatus 55 mm.

Neetimistööde suure mahu juures on otstarbekas need automatiseerida. Selleks kasutatakse neetimisautomaate, mis stantsivad avad ühendatavaisse detailidesse, paigaldavad needid ja kujundavad sulgeva pea (needivad kinni).

Joon. 257 on näidatud niisuguse automaadi tööskeem üksikute etappide kaupa: *I* — needitavad lehed on pandud alumisele alu-



Joon. 256. Kantav hüdrauliline näpitspress õhukesest lehtmaterjalist sõlmede neetimiseks: *1* — plunžer; *2* — kang; *3* — pressi korpus; *4* — tugi; *5* — kolb; *6* — käivitusnupp



Joon. 257. Neetimisautomaadi töö skeem

sele, *2* — ülemine tempel laskub lehtedele, pressides neis välja süvendi; alumine tempel lööb lehtedest läbi ava (jäätmed eemaldatakse ülemise templi külgava kaudu); *3* — ülemine tempel tõuseb üles, alumine jääb läbilöödud avasse, takistades lehtede nihkumist; *4* — neet antakse automaatselt templi süvendisse; *5* — neet viiakse lehtede avasse ja pinn kujundab sulgeva pea. Automaadi tootlikkus on 25...45 neeti (läbimõõduga 4 mm) minutis.

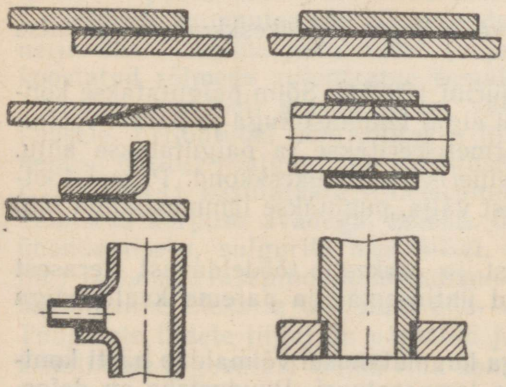
Kui neete ei ole võimalik asetada nende tiheda paigutuse tõttu, siis kasutatakse pöördseadmeid. Needitavate detailide asend peab neil olema niisugune, et kõik needid saaksid asetatud minimaalsete pööramiste juures.

Neetimise kvaliteeti kontrollitakse välise vaatlusega ja neetide ülekoputamisega.

Välise vaatlusega selgitatakse välja ka sulgeva pea kujundamise defektid. Koputamisega tehakse kindlaks halvasti pingutatud needid. Alamõõdulised pead tehakse kindlaks šablooni abil. Peade mitteküllaldast ligiliibumist kontrollitakse lehtkaliibri abil. Defektsed needid puuritakse välja ja asetatakse uued. Eriti vastutusrikkaid neetliiteid kontrollitakse röntgeno- ja gammagraafiliselt või keevisõmbluse valikulise mehaanilise katsetamisega.

Jootmise tehnoloogiline protsess koosneb detailide jootmiseks ettevalmistamisest, koostamisest, jootmisest ja jooteliidete kontrollimisest.

Ühendatavate detailide pinnad (ühenduspinnad) peavad olema hoolikalt puhastatud õlidest, oksiididest jt. võõrkehadest. Mehaaniliselt puhastatakse terasharjadega või peene abrasiivpaberiga, õlidest puhastatakse kuuma leelise lahusega, trikloroetüleeniga või tetrakloorsüsinikuga. Oksiidid eemaldatakse söövitamisega hapetes, seejärel pestakse ja kuivatatakse.



Joon. 258. Jooteliidete liigid

Liite tugevuse tagamiseks on vaja suurt ühenduspinda. Selles suhtes on mugavad üksteise suhtes nurga all või harali asetatud ülekattega liited. Kontaktipinda suurendatakse väljalõigetega või kasutatakse ühendavaid detaile. Tüüpilised liitmisviisid jootmisel on näidatud joon. 258.

Jootmisega koostamisel on tarvis rangelt kinni pidada vajalikust pilust õmbluses, õigesti arvestada joodise hulka ja asukohta. Peamine nõue pilude suuruse määramisel on see, et ta oleks joodisega täidetav täielikult ja et vedel joodis püsiks seal kapillaarjõudude toimel. Seoses kapillaarsuse mitmesuguste tingimustega sõltub pilu suurusest joodise ja metalli vastastikune difusioon ja liite tugevus. Terasdetailide jootmisel kõvajoodistega on soovitatav pilu suurus 0,03...0,05 mm ja pehmejoodiste puhul 0,05...0,2 mm. Vasesulamist detailide jootmisel suurendatakse pilu kuni 0,08...0,35 mm. Pilu suurenemisega liite tugevus langeb.

Märgitud suuruste kindlustamiseks peab eelnev mehaaniline töötlemine olema täpne ja tuleb arvestada kuumutamisel tekkivaid soojuslikke deformatsioone.

Jootmiseks on soovitatav detaile koostada rakistes, mille konstruktsioonid ei põhjusta soojuse liigset ärajuhtimist jootmiseks ettekuumutamisel. Rakise materjali joonpaisumistegur peab olema ligilähedane põhimetalli joonpaisumistegurile.

Joodis kantakse peale kas jootekolviga sulas olekus või siis traatkontuuridena, õhukeste lehekujuliste vahetükkidena, lindina, teradena või räbustiga segatud pasta kujul; joodis sulab detailide kuumutamise ajal.

Automaatsel jootmisel kantakse joodis peale rõngastena, seibidena või pasta kujul doseeritud kogustes pritsi abil.

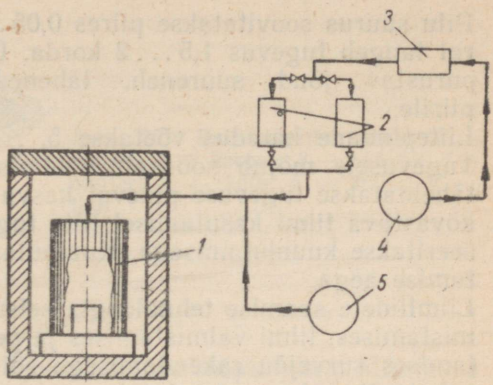
Kuumutatakse kaitsekeskkonnaga või vaakuumiga ahjudes, kastmisega vanni, kõrgsagedusvooluga, termilise kontaktiga ja gaasipõletitega.

Joon. 259 on toodud kuiva vesinikuga kaitsekeskkonnas jootmise seadme skeem.

Ahi kuumutatakse temperatuurini 1200° C. Sõlm paigutatakse konteinerisse, mis puhutakse läbi algul lämmastikuga ja pärast vesinikuga. Seejärel konteiner hermetiseeritakse ja paigutatakse ahju. Jootmise ajal hoitakse konteineris vesinikukeskkond. Pärast jootmist võetakse konteiner ahjust välja, puhutakse lämmastikuga läbi ning toode võetakse välja.

Roostevabast, kuumakindlast ja raskesti töödeldavast terasest detailidel saadakse õmblused ühtlasemad ja parema kvaliteediga vaakuumis jootmisel.

Jootmine kõrgsagedusvooluga kuumutamisel võimaldab hästi kontrollida kuumutamise aega ja temperatuuri. Puudusteks on defor-



Joon. 259. Jooteseadme skeem: *1* — konteiner; *2* — kuivati; *3* — taandi; *4* — vesinik; *5* — lämmastik

matsioonide tekkimine ja kokkujoodetavate detailide piiratud mõõtmed.

Alumiiniumisulamitest detailide ultraheliga jootmisel peavad jootekohad olema kas gaasipõletiga või mõnel muul viisil ette kuumutatud temperatuurini 250 ... 300° C. Jootmiseks kasutatakse ultrahelikolbe. Ettekuumutuseta võib joota ultrahelikolviga, mille tööosa kuumutatakse elektrispiraaliga. Väikesed alumiiniumdetailid tavaliselt enne jootmist tinatatakse sulajoodisevannis. Vanni põhja juhitakse seejuures ultraheli.

Ühendatavate detailide paigaldamine silinderpindade järgi ei tekita automaatjootmisel raskusi. Tasapinnaliste detailide ühendamiseks kasutatakse paigaldusrakiseid ja kinnitusseadmeid. Üks lihtsamaid automatiseeritud jootmise viise on jootmine pastakujulise joodise ja räbusti abil. Joodetakse karussellseadmel: esimeses positsioonis toimub punkrist etteantavate detailide paigaldamine; teises — pasta doseeritud etteandmine jootmistsooni; kolmandas — sõlmede kuumutamine kõrgsagedusvooluga või gaasipõletiga; neljandas — sõlme jahutamine (vajaduse korral) ja viiendas — koostatud sõlmede automaatne eemaldamine.

Jootmise kvaliteeti kontrollitakse välise vaatlusega ja hermeetilisusele. Erijuhtudel kontrollitakse liite tugevust ja joodise jagunemise ühtlust röntgen-läbivalgustusega.

L i i m i m i s t kasutatakse silinderpindadega liidete (pukside ühendamiseks korpuse avadega, ketaste ühendamiseks võlliga, torude ühendamiseks, sulgurite asetamisel, piduriklotside kinnitamiseks jm.) ja samuti tasapindade ühendamiseks (lehtmaterjalist detailide ühendamine ülekatte teel ning ühe- või kahepoolsete lappidega). Tüüpiliste liidete liigid on näidatud joon. 260.

Liimliidete tugevusele mõjub rida konstruktiivseid ja tehnoloogilisi tegureid. Tugevus sõltub pilu suurusest liites (liimikile paksusest).

Pilu suurus soovitatakse piires 0,05 ... 0,15 mm. 0,5-mm pilu korral langeb tugevus 1,5 ... 2 korda. Ülekatte pikkuse l suurenedes purustav jõud suureneb, lähenedes asümptootiliselt teatud piirile.

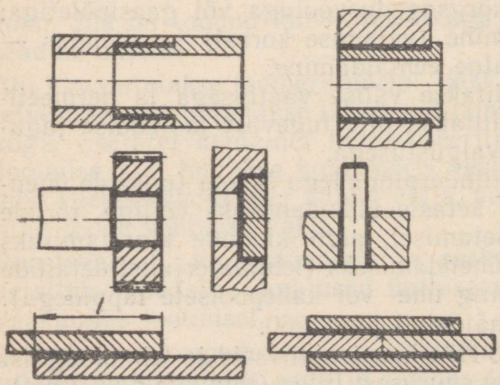
Liitepindade karedus võetakse 5. ... 6. pinnasiledusklassi järgi. Tugevusele mõjub soodsalt hoidmise aeg. Külmal kõvastumisel täheldatakse tugevuse pidevat kasvu pikema aja jooksul. Külmalt kõvastuva liimi kasutamisel liite tugevus suureneb, kui polümeriseeritakse kuumutamisega. Kuumutamine lühendab samuti kõvastumise aega.

Liimliidete saamise tehnoloogia seisneb detailide pindade ettevalmistamises, liimi valmistamises ja pealekandmises, detailide koostamises survejõu rakendamisega sõltuvalt liimi margist ja koostatud sõlme kuumutamisest.

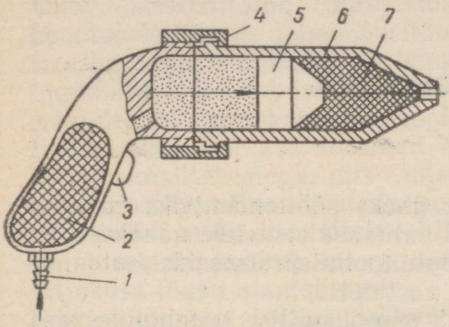
Liitepinnad peavad olema puhtad ja rasvavabad. Puhastatakse kaltsude, harjade ja haavlipritsiga (tagist puhastamine). Pinnad puhastatakse rasvadest (õlidest) atsetooni, trikloorетüleeni, tetrakloorsüsiniku jt. orgaaniliste lahustitega. Alumiiniumisulamist pindade ettevalmistamiseks on spetsiaalne nn. piklingprotsess.

Liimi pealekandmise viis sõltub selle viskoossusest. Kõige sagedamini kasutatakse vedelaid liime viskoossusega, mis lubab neid peale kanda pintsli või pulverisaatoriga. Mõningaid liime (näit. epoksüliimid), mida ei saa lahustitega vedeldada, on otstarbekas peale kanda pahtli, rulli või pritsiga. Peeneks tööks kasutatakse meditsiinilist pritsi, jämedaks — pneumaatilist.

Pneumaatilised käsipritsid (joon. 261) valmistatakse püstolikujulised, millesse suruõhk antakse läbi stutseri. Suruõhk rõhub kolvi abil liimi välja läbi 1 mm läbimõõduga düüsi. Analoogilisi pritse kasutatakse ka statsionaarseis seadmeis — liimimiseks ja viskoos-



Joon. 260. Liimliidete peamised liigid



Joon. 261. Pneumaatiline prits: *1* — stutser; *2* — korpus; *3* — päästik; *4* — mutter; *5* — kolb; *6* — hülss; *7* — liim

sete liimidega täisvalamiseks kasutatavates tööpinkides. Mõnikord kastetakse detailid liimisse.

Liim valmistatakse ette spetsiaalses polükloorvinüülist või polüetüleenist nõus. Metallnõu on vaja kroomida või katta silikoonlakiga. Liimi koostisosad doseeritakse kaalu või mahu järgi.

Detailid koostatakse rakistes, milles kokkusurumise tagavad kangisüsteemid, vedrud või pneumoseadmed.

Sõlmi kuumutatakse elektriliste või gaaskuumutitega kappides, milles temperatuuri reguleeritakse täpsusega $\pm 5°$ C.

Kuumutustemperatuur ja -aeg sõltuvad liimi koostisest. Näiteks vaigu ЭД-5 baasil valmistatud külmalt kõvastuva liimi kuumutamiseks soovitatakse temperatuuri 150...160° C kuumutusajaga 1,5 tundi. Vaigu ЭД-5 (ЭД-6) baasil valmistatud kuumalt kõvastuva liimi soovitatav kuumutusaeg on 3...4 tundi temperatuuril 150...160° C või 1,5...2 tundi temperatuuril 180...190° C.

Töötamine liimidega nõuab ettevaatust, kuna nende koostisosad on toksilised. Liimidega tuleb töötada kummikinnastes ja hea ventilatsiooni juures.

Plastmasse liimitakse kas ülalmärgitud või spetsiaalsete liimidega. Paljudel termoplastidel on niisuguseks liimiks lahusti, näiteks orgaanilise klaasi liimiks on diklooretaan, polüstürooli liimiks bensool, vinüülplasti liimiks atsetoon jt.

Liimimise automatiseerimine võimaldab tagada tehnoloogilise protsessi stabiilsust. See on seotud liitepindadele liimi pealekandmise, koostamise ja ühendatavate detailide täpse fikseerimise ja hoidmise ülesannete lahendamisega. Liimi võib peale kanda rullidega, sissekastmisega või ühenduspindade vahel olevasse pilusse pritsimisega.

Liimliidete kontrollimiseks kasutatakse järgmisi meetodeid: vaakuummeetod, mille juures mitteliimitud kohad kummuvad vaakuumi tõttu üles; vabavõnkumismeetod, mille juures defekti olemasolu muudab omavõnkesagedust; läbikostmismeetod; ultraheli resonantsmeetod jt.

VII PEATÜKK

MASINATE TOOTMISE TEHNOLOOGIA ARENGU PÕHISUUNAD

Tänapäeva masinaehituse arengu üheks põhitendentsiks on automatiseerimine. Vastavalt partei ja valitsuse otsustele nähakse nõukogude masinaehituses ette tunduv tootmisprotsesside automatiseerimise laiendamine lähematel aastatel.

Tootmise automatiseerimine nõuab tehnoloogilise ja tehnilise taseme tõstmist tootmisprotsessi kõikidel etappidel.

Et nõukogude masinaehituses on ette nähtud rakendada toorikute tootmisel uusi progressiivsemaid meetodeid, märgime ära põhilised suunad toorikute saamise protsesside arengus.

Toorikute saamise meetodite arengu põhiline suund avaldub toorikute konfiguratsiooni maksimaalses lähendamises valmisdetailide konfiguratsioonile, toorikute valmistamise täpsuse tõstmises ja mehaaniliseks töötlemiseks vajalike töötlemisvarude vähendamises.

Mass- ja suurseeriatootmises tuleb hakata laialdaselt kasutama eriprofiiliga valtsmaterjali, mis annab mitte ainult metalli tunduva kokkuhoiu, vaid vähendab ka järgneva mehaanilise töötlemise töömahukust. Kõrge täpsusklassiga detailide valmistamisel valtsmaterjalist selle täiendava profiiltõmbamisega võib saada valmisdetaili kontuurile täielikult vastava profiili ja seda täpsusega, mis välistab järgneva mehaanilise lõiketöötlemise vajaduse.

Progressiivsete profiilsete ribamaterjalide tootmine annab täpsemate toorikute saamise võimaluse, kui on valtsmaterjalist toorikud, samuti selliste profiilide saamise võimaluse, mida pole võimalik kujundada valtsimisega.

Sepiste valmistamisel hakatakse laialdaselt kasutama mehaanilisi sepistuspresse ja -vasaraid vabasepistamiseks ettenähtud vähetootlike presside ja vasarate asemel, mille kasutusala hakkab piirduma vaid individuaaltootmisega. Sealjuures tuleb rakendada toorikute kuumutamist gaasiahjude kambrites, kõrg- ja tööstusliku sagedusega elektrivooluga kuumutamist, elektrokontaktkuumutamist, toorikute termilist töötlemist soolavannides, mis annab võimaluse toorikute valmistamiseks pidevvoolusega ilma järgneva puhastamiseta.

Stantsitud toorikute kalibreerimine tõstab tunduvalt taotletavate mõõtmete täpsust ja kalibreeritavate pindade kvaliteeti ning väldib nende pindade järgnevat lõiketöötlemist või võimaldab piirduda vaid lihvimisega vahetult pärast kalibreerimist.

Uute, sisseehitatud induktsioonkuumutusega sepistusmasinate kasutuselevõtmine lubab ühendada kiirkuumutuse (20...40 s) ja tooriku kuju muutmise sepistusmasina ühte töötsüklisse, saada tagikihita toorikuid ja automatiseerida stantsimisprotsessi. Real juhtudel on otstarbekohane sepistusvaltside kasutamine toorikute lindi saamiseks, kus toorikud on omavahel ühendatud õhukeste üleminekusillakestega, mis eemaldatakse lõikestantsis. Samal ajal võib sepistusvaltse kasutada perioodilise profiiliga valtsmaterjali saamiseks, mida stantsitakse hiljem vasaratel ja pressidel ja mis tagab metalli kokkuhoiu, stantside püsivusaja suurenemise ja tööviljakuse tõusu stantsimisel.

Seeriatootmises peavad leidma laialdase kasutamise rotatsioonsepistusmasinad, mis võimaldavad kiiret ümberseadistamist üleminekul ühelt toorikult teisele.

Suure tootlikkusega pressautomaatidel teostatav külmjämendamine peab kinnitus- ja teiste detailide (tõukurid, rullid, kuulid, umbäärikud, väikesed astmelised võllid jms.) valmistamisel leidma laialdase rakenduse kui meetod, mis annab kõrge valmistustäpsuse ja mille juures langeb ära edasise lõiketöötlemise vajadus.

Lehtmaterjali külmstantsimine on kõrge tootlikkusega tootmismeetod, mille laialdane kasutamine tagab real juhtudel masinadetailide ja -sõlmede valmistamise protsesside töömahukuse tunduva vähenemise lõiketöötlemise ärajäämise tõttu.

Tootmisprotsesside töömahukuse vähenemise efekti on oodata keevitatud ja eriti stantsitud-keevitatud konstruktsioonide juurutamisel. Sealjuures tuleb tunduvalt suuremas ulatuses rakendada automaat- ja poolautomaatkeevitamist räbustikihi all, elektri-räbukeevitamist, kaitsegaaside keskkonnas keevitamist, kontaktkeevitamist ja teisi progressiivseid keevitusmeetodeid vooltootmise organiseerimisega ja keevitustööde maksimaalse mehhaniseerimise ja automatiseerimisega.

Valandite tootmisel tuleb toorikute täpsuse tõstmiseks ja järgneva mehaanilise töötlemise mahu vähendamiseks laialdaselt juurutada väljasulatatavate mudelitega valu, valu koorikvormidesse, valu kokillidesse, survevalu, kusjuures rakendatakse vooltootmise meetodeid. Mass- ja seeriatootmises tuleb laiemalt kasutada metallvorme suurte ja keerukate valandite tootmisel, kusjuures kasutatakse kvaliteetseid määrdeid ja värve, õhukesekihilist muldsegudega katmist, metall- ja muldkärne. Väikeseeria- ja individuaaltootmises tuleb vormi- ja kärnivalmistamise tööd mehhaniseerida olemasolevate masinakonstruktsioonide laialdase ärakasutamisega, rakendades kergelt vahetatavaid mudeliplaate ja kärnikaste; põrandasse vormimist tuleb järsult piirata üleminekuga vormikastidega, karkass- ja kärnidega vormimisele. Kõikidel valandite tootmise juhtudel tuleb vormide ja kärnikastide täitmisel

rakendada kõrge tootlikkusega liivapildujaid, samuti mitmepositsioonilisi liivapuhumise ja täiendava kokkupressimisega vormimismasinaid.

Toorikute ettevalmistamisel järgnevaks töötlemiseks tuleb likvideerida tööliste tervisele kahjulik töötlemata toorikute trummeldamine ja liivapritsiga töötlemine. Selle asemel tuleks ulatuslikult rakendada haavlijoaga töötlemist, elektrilist ja hüdropuhastust, mis on suurema tootlikkusega ja annavad toorikutele parema kvaliteedi.

Vaadeldud progressiivsete eeltoorikute saamise meetodite juurutamine vähendab tunduvalt järgneva lõiketöötlemise mahtu ja muudab oluliselt mehaanilise töötlemise protsesse. Täpsete valandite saamise meetodid, täpne stantsimine ja stantsimine koos järgneva kalibreerimisega võimaldavad istamispindade töötlemisel piirduda abrasiivlõikeriistade kasutamisega. Vähemtäpsed toorikute saamise meetodid nõuavad eelnevat ühekordset määratud lõikeservaga lõikeriistaga töötlemist. Ainult muldvormidesse valatud ja vasaratel stantsitud toorikud nõuavad, olenevalt tooriku saamise täpsusest, kooriv- ja puhas- või kooriv-, siluv- ja puhastöötlemist; vabasepistamisega saadud sepised nõuavad veel eelkoorimist. Ent vabasepistamine jääb kasutusele vaid individuaaltootmises; nähtavasti piirdub edaspidi ka muldvormides saadud valandite rakendamine individuaal- ja väikeseeriatootmisega, vasaratel stantsimine — väikeseeriatootmisega. Seeria- ja masstootmises hakatakse kasutama toorikute kaasaegsemaid saamismeetodeid, mis tagavad valmistamise üldise töömahukuse vähenemise ja lõiketöötlemise osatähtsuse tunduva vähenemise tootmisprotsesside üldises töömahus. Samal ajal võib toorikute töötlemise tehnoloogias oodata viimistlusoperatsioonide osatähtsuse tõusu seoses detailide täpsuse ja pinnakvaliteedi nõuete suurenemisega, mis on tingitud masinate kulumiskindluse, tugevuse ja teiste ekspluatatsiooniomaduste järjest kasvavatest nõuetest. Seega on tulevikus toorikute töötlemisel ülekaalus meetodid detaili pinna töötlemiseks abrasiivlõikeriistadega, peentöötlemismeetodid määratud lõikeservaga lõikeriistadega, lõpptöötlemismeetodid laastu eraldamiseta, haavlijoaga ja vibratsiooniga kalestamine, viimistluslihvimine (superfiniš) ja elektrokeemilised pinnaviimistlusmeetodid.

Lõiketöötlemismeetodite arenemisel asendatakse ühelõikeservalised lõikeriistad mitmelõikeservalistega.

Näiteks on kammlõikamisel kõige laiemad kasutusvõimalused kõikide põhiliste pinnatüüpide (avad, tasapinnad, pöördpinnad jms.) töötlemisel. Üheks perspektiivseks suunaks on ka hammasrataste hammaste töötlemine kammlõikemeetoditega, mis võib asendada

kaasaegseid, keeruka kinemaatilise skeemiga ja madala tootlikkusega hambalõikeseadmeid.
Arendatakse ka tehnoloogiliste siirete kõrget kontsentratsiooniastet võimaldavaid töötlemismeetodeid ja lõikeriistu.
Kõikidesse masinaehitusharudesse levivad üha enam suured lõikekiirused.
Avade kõrget täpsust ja head pinnakvaliteeti tagavad mikro- ja progressiivhoonimine leiavad laialdast kasutamist kõikides masinaehitusharudes.
Samasugused perspektiivid on teemantteradega sisetreimisel, välistreimisel, freesimisel, hõõritsemisel ja šeevingprotsessil.
Väikeste avade ja keerukate kontuuride töötlemisel karastatud terasest, raskesti töödeldavatest materjalidest ja kõvasulamitest detailidesse võib lugeda progressiivseteks meetoditeks elektrierosioon- ja ultraheliga töötlemist. Arendatakse ka elektron- ja valguskiirega töötlemist.
Elektrokeemilise töötlemise meetodite kaheldamatud eelised tagavad samuti nende edasise laialdasema kasutamise masinaehituses, eriti lõikeriistade valmistamisel.
Esitatud mehaanilise töötlemise perspektiivsed põhisuunad tingivad ka vastavaid muutusi mehaanikatsehhide pingipargi koostises.
Mass- ja seeriatootmises hakkavad mehaanikatsehhide seadmepargis põhiliselt esinema: a) agregaattüüpi mitmelõikeriistalised mitmepositsioonilised poolautomaadid, milles rakendatakse kiiretoimelisi paigaldusrakiseid ja mis ühendavad rea erinevaid töötlemisviise üheks tehnoloogiliste siirete kõrge kontsentratsiooniastmega operatsiooniks; b) nii ühe- kui mitmelõikeriistalised täpsed pindade lõpptöötlemise pingid (näiteks mitmekäialised lihvpingid võlli astmete paralleeltöötlemiseks, kahe käiaga pingid hammasratta tsentreeriva ava ja otspinna järjestikuseks töötlemiseks); c) standardsete agregaatpeade baasil koostatud automaatliinid, milles rakendatakse mitte üksnes erinevaid mehaanilise töötlemise viise, vaid ka kõrgsagedusvoolu abil toimuvat termilist töötlemist, samuti sõlmede koostamist koos sõlme järgneva töötlemisega koostatud kujul, automaatset vahe- ja lõppkontrolli. Real juhtudel võivad automaatliinides esineda ka toorikute saamise protsessid, näiteks jämendamine sisseehitatud induktsioonkuumutusega sepistusmasinatel, ribamaterjali pressimine, painutamine, keevitamine ja rõngastoorikute laialivaltsimine, alumiiniumi ja magneesiumi alusel saadud sulamitest toorikute valu.
Suurt tööd tehakse seadmete moderniseerimise alal. Universaalpingid varustatakse laadimis- ja mõõteseadmetega, kinnitus- ja paigaldusrakistega, hüdrosuportitega, automaatsete laadimis- ja teiste seadmetega. On välja töötatud ka suur programm uut tüüpi

kõrge tootlikkusega pinkide ja kompleks-automaatliinide loomiseks. On ees suured uurimistööd programmjuhtimissüsteemide alal, kus rakendatakse magnetlinti või perfokaarte ja -linte, mille kasutamine võimaldab vältida täpset valmistamist nõudvaid šabloone. See on eriti oluline sageli vahetuvate tootmisobjektidega ettevõtetele.

Koostamise tehnoloogiliste protsesside alal jätkub maksimaalse mehhaniseerimisastmega voolkoostamismeetodite rakendamine. Areneb ka tööde automatiseerimine, esmajärjekorras sõlmkoostamisel, kuna üldkoostamise automatiseerimisel oleks vaja keerukaid ja järelikult kalleid seadmeid, mida tuleks koostatava toote konstruktsiooni muutumisel vahetada.

Koostamistööde automatiseerimine nõuab koostatavate masinate sõlmede ja detailide vahetatavuse osatähtsuse tõstmist ning detailide ja sõlmede mõõtmete, geomeetrilise kuju ja ruumiliste hälvete tolerantside ahendamist. Peale selle on vaja automaatsetele koostamisliinidele välja töötada mehhaniseeritud tüüp-koostamisriistu, paigaldusmehhanisme, programmseadmetega automaatkonveiereid ja muid eriseadmeid. Automatiseerimisseadmete konstruktsiooni väljatöötamine peab toimuma spetsialiseeritud konstruktsioonibüroodes ja see nõuab suuri uurimis- ja katsetustöid.

Automatiseeritud tootmine on kõige kõrgem ja täiuslikum masinaehitusliku tootmise vorm, kuid ka kõige kaasaegsem automatiseerimine nõuab täiustamist.

Tehnoloogiliste protsesside väljatöötamise automatiseerimine elektronarvutite kasutamisega. Suure nomenklatuuriga tootmise ja tihti vahetuvate toodete korral ning nende ebaküllaldase unifitseerimise ja tehnoloogiliste protsesside tüpiseerimise puhul kujuneb tehnoloogia väljatöötamise töömaht väga suureks.

Piiratud aja ja suure tehnoloogide arvu pidamise võimatuse tõttu töötatakse tehnoloogilised protsessid välja ligikaudu, optimaalset varianti määramata.

Tehnoloogide tööd võib tunduvalt kiirendada ja kergendada arvutustehnika kasutamisega selliste eriülesannete lahendamisel, nagu täpsusarvutus, töötlemisvarude arvutus, lõikerežiimide arvutus, töötlemise ajanormide määramine jt.

Kaasaegsed elektronarvutid (EA) lubavad lahendada aga ka keerukama ülesande — töötada välja etteantud detaili töötlemise optimaalne tehnoloogiline protsess.

Praegusel ajal on rea organisatsioonide poolt edukalt lahendatud EA rakendamine erijuhtudel — teatud tüüpi detailide (astmelised võllid, kettad, stutserid jt.) töötlemise tehnoloogiliste protsesside väljatöötamiseks. Tehnoloogilise projekteerimise automatiseerimise ülesande lahendamine jaguneb järgmisteks etappideks: lähteinformatsiooni kodeerimine, lähteinformatsiooni läbitöötamise mee-

todite väljatöötamine, tehnoloogiliste ülesannete programmeerimisvõtete väljatöötamine, algoritmi (ettekirjutus teatud operatsioonide kompleksi sooritamiseks EA-l) väljatöötamine, mis määraks täpselt ja üheselt antud detaili tehnoloogilise protsessi.

Kõige keerukam on koostada tehnoloogilise projekteerimise algoritmi, kuna sealjuures on vaja lahendada suur hulk loogilise ja programmeerimisiseloomuga küsimusi.

Tehnoloogilise protsessi väljatöötamisel tüüpdetailile annab EA tähelis-numbrilise trükiseadme vahendusel välja marsruudi-operatsioonikaardid, kus on ära näidatud operatsiooni ja siirete sisu, lõikerežiimid ning ajanormid. EA lahendab lähtamisküsimused, valib seadmed ja rakistuse (olemasolevate hulgast ja lähtetingimustega etteantute hulgast), arvutab välja töötlemishälbed, määrab töötlemisvarud ja leiab tehnoloogilise protsessi tervikliku ülesehituse optimaalse variandi.

EA kasutamine võimaldab tõsta töötootlikkust, lühendada uute toodete tootmise ettevalmistamise tähtaegu, parendada planeerimist ja vähendada tehnoloogide arvu. Üleminekul teisele tüüpdetailile või antud detaili valmistamisele teises tsehhis on vaja koostada teine algoritm. Uutele tingimustele vastava algoritmi koostamise töömahukus jääb peaaegu samaks mis esimesel juhul.

Suuri eeliseid võib anda universaalse algoritmi väljatöötamine ükskõik millise detaili tehnoloogia projekteerimiseks. Selle ülesande lahendamine on seotud tehnoloogiliste protsesside projekteerimise teaduslikult põhjendatud metoodika koostamise vajadusega ja suurema mälumahuga ning suurema käskude arvuga EA kasutamisega. Metoodika väljatöötamisel on vajalik uus detailide klassifikatsioon ja uus tehnoloogiliste protsesside tüpiseerimise süsteem.

Universaalse algoritmi koostamisel on vaja kõige enne lahendada detaili joonise kodeerimise ja EA mäluseadmesse sisseviimise küsimused. Kodeerimissüsteem peab olema lihtne. Kodeerimisel ei tohi rakendada kõrge kvalifikatsiooniga tehnoloogide ja matemaatikute tööd. Perspektiivsed on praegu toimuvad tööd jooniste lugemise automaadi loomiseks. Nende tööde lõpetamine võimaldab töö täielikumat automatiseerimist detailide valmistamise optimaalsete tehnoloogiliste protsesside koostamisel.

Lõpuks tuleb rõhutada seda suurt mõju, mida osutab masina ja selle elementide konstruktsioon tootmistehnoloogiale, tööviljakusele, samuti tootmisprotsesside mehhaniseerimise ja automatiseerimise võimalusele. Mitte kõik konstruktsioonid ei võimalda tööviljakust tõsta ja tootmisprotsesse otstarbekohaselt automatiseerida. Seda võimaldavad ainult need konstruktsioonid, mis on välja töötatud tootmise tehnoloogilisi tingimusi arvestades. Samal ajal loob tootmise tehnoloogiliste meetodite arendamine ja täiustamine

tingimused kõrgema kvaliteediga konstruktsiooni loomiseks. Kaasaegse tehnika areng kõrgendab tootmise tehnoloogilistele meetoditele esitatavaid nõudeid, mis kohustab tehnoloogi väsimatult ja vahetpidamatult täiustama neid meetodeid.

Uued konstruktsioonid sunnivad otsima uusi tehnoloogilisi tootmismeetodeid ja ümberpöördult: masinaehituse areng, tootmise uute, kõrge tootlikkusega ja kõrge täpsusega meetodite loomine võimaldab luua uusi, täiuslikumaid konstruktsioone. Sellepärast ongi meie maa juhtivate tehaste konstruktorite ja tehnoloogide vahel tihe koostöö uute konstruktsioonide loomisel. Selline koostöö tagab nõukogude tehnika ja masinaehituse kõrvalekaldumatu arengu.

LISA 1

E. LIIVER

OPTIMAALSETE LÕIKEREŽIIMIDE MÄÄRAMINE MAJANDUSLIKE KRITEERIUMIDE PÕHJAL

1. LÕIKEREŽIIMI TASEME MAJANDUSLIKUD KRITEERIUMID

Metallilõikepingid on olulisemaid tootmisriistu masinatehastes. Rahvamajanduses on tähtis nende tööd objektiivselt hinnata majanduslike kriteeriumide põhjal. Alljärgnevalt on esitatud lõikerežiimi valikul kasutatavad majanduslikud kriteeriumid.

Esimeseks kriteeriumiks on lõikeriista lõikesoleku aeg t_l või selle pöördväärtus — lõikeprotsessi tootlikkus q_l:

$$t_l = \frac{V}{k_z i} \text{ min}; \tag{1}$$

$$q_l = \frac{1}{t_l} = \frac{k_z}{V} i = k_l i \text{ 1/min}. \tag{2}$$

Töötlemisvaru maht V ja kujutegur k_z (puurimisel $k_z = 0{,}5$, treimisel $k_z = (D_v - t)D_v^{-1}$) on eelnevalt määratud, seega oleneb lõikesoleku aeg ja lõikeprotsessi tootlikkus lõikerežiimi intensiivsusest

$$i = tsv \text{ cm}^3/\text{min}. \tag{3}$$

Lõikeriista püsivusaja T kestel töödeldud detailide arv

$$k = \frac{T}{t_l}. \tag{4}$$

Töö jätkamisel on vaja nürinenud lõikeriist vahetada teritatuga, milleks kulub nn. tehnilise teenindamise aeg t_{tehn}, mis on arvutatav tõlketeksti valemiga 3.

Lõikeriista ühekordseks vahetamiseks kuluv aeg tsentraalse terituse puhul

$$a = t_h k_h + t_k k_k + T_v \text{ min}; \tag{5}$$

kui pingil töötaja teritab ise lõikeriista, siis

$$a = t_h k_h + t_k k_k + t_{ter} + T_v \text{ min}. \tag{6}$$

Asetanud tõlketeksti valemisse 3 valemite 4, 5 ja 6 väärtused, saame

$$t_{tehn} = \frac{a}{T} t_l \text{ min.} \tag{7}$$

Lõiketeooriast on tuntud valem [6]

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} \text{ m/min.} \tag{8}$$

Kui avaldame siit püsivusaja T ning asetame selle valemisse 7, siis saame valemite 1 ja 3 põhjal

$$t_{tehn} = \frac{V_a}{k_z C_v^{1/m}} t^{\frac{x_v}{m}-1} s^{\frac{y_v}{m}-1} v^{\frac{1}{m}-1} \text{ min.} \tag{9}$$

Normatiivide [6] kohaselt $m < 1$, seega $\frac{1}{m} - 1 > 1$ ja tehnilise teenindamise aeg suureneb lõikekiiruse suurendamisel. Valemitest 1 ja 3 on näha, et lõikekiiruse suurendamisel vähenevad lõikesoleku aeg ja operatsiooni põhiaeg, järelikult on normatiivide [6] andmed tehnilise teenindamise aja kohta protsentides põhiajast ebatäpsed.

Näitena vaatleme kiirtreimise operatsiooni, mille põhiaeg $t_o = 10$ ja normatiivne $t_{tehn} = 0{,}03 \cdot t_o = 0{,}3$ min.
Kui suurendame lõikekiirust 25% võrra, siis põhiaeg

$$t'_o = \frac{t_o}{1{,}25} = 8 \text{ min;}$$

kuna $m = 0{,}2$, siis tehnilise teenindamise aeg

$$t'_{tehn} = 1{,}25^{\frac{1}{0{,}2}-1} \cdot t_{tehn} = 2{,}44 \cdot 0{,}3 = 0{,}73 \text{ min.}$$

Tehnilise teenindamise aeg on nüüd põhiajast 9,13%, seega ligikaudu 3 korda suurem kui normatiivide põhjal.

Teoreetiliselt on võimalik tööd organiseerida nii, et tõlketeksti valemite 1 ja 4 liikmed t_{org} — organisatsioonilise teenindamise aeg; t_v — vaheaeg töölise puhkamiseks ja loomulike vajaduste rahuldamiseks ning $T_{e.l}$ — ettevalmistus-lõpetusaeg kattuvad operatsiooni põhiajaga. Siis mõjutab lõikerežiimi valik ainult põhi- ja tehnilise teenindamise aega.
Põhiaja leidmiseks tuleb lõikesoleku ajale lisada lõikeriista sisse- ja ülejooksu aeg ning mehhaniseeritud pinkidel (automaadid, pool-

automaadid) lõikeriista lõikesse viimise ja lõikeprotsessi järel endisesse asendisse toomise aeg. Väljendades seda ajakulu teguriga α, saame lõiketöötlemise põhiaja valemi

$$t_o = \alpha t_l \text{ min.} \tag{10}$$

Universaalpinkidel, kus lõikeriista lõikesse viimine ja endisesse asendisse toomine toimub käsitsi, kuulub see ajakulu abiaja t_a hulka. Tegur α on siis minimaalne:

$$\alpha_{min} = \frac{l_t}{L} \approx 1. \tag{11}$$

Teiseks kriteeriumiks on lõikepingis töötlemise aeg ehk tehniline aeg, s. o. põhiaja ja tehnilise teeninda-mise aja summa

$$t_{t.a} = t_o + t_{tehn} = \alpha t_l + \frac{a}{T} t_l = \frac{\alpha T + a}{T} t_l \text{ min} \tag{12}$$

või selle pöördväärtus ehk lõikepingi tehniline tootlikkus

$$q_t = \frac{1}{t_{t.a}} = \frac{T}{\alpha T + a} q_l \text{ l/min.} \tag{13}$$

Kolmandaks kriteeriumiks on toodangu omahind. Tehnoloogilise protsessi variandi hindamisel kasutatakse operatsiooni omahinda. Arvutusteks tuleb ettevõttel välja töötada või kasutada kirjandusest normatiive ühe masintunni maksumuse kohta. Omahinna analüüsimisel on otstarbekas lahutada norma-tiivsest masintunni maksumusest lõikeriistade ekspluatatsiooni- ja amortisatsioonikulud, lisada töölise ja seadistaja töötasu ning arvestada kaoaegasid. Siis saame lõikepingi ühe minuti töötlemis-aja maksumuseks

$$s_p = s_t + s_s + \frac{s_{m.t} - s_l}{60\, k_p} \text{ kop/min;} \tag{14}$$

tegur k_p on arvutatav valemiga

$$k_p = 1 - \left(\frac{t_{k.m}}{T_{vah}} + \frac{t_{k.o}}{T_{vah}} + \frac{t_{k.t}}{T_{vah}} \right).$$

Seeriatootmises tuleb lõiketöötlemise tehniliselt põhjendatud aja-norm arvutada tõlketeksti valemite 1, 4 ja valemi 12 põhjal täp-sustatud valemiga

$$t_n = \frac{1}{k_n}\left(t_{t.a} + t_a + \frac{T_{e.l}}{n}\right) = \frac{aT + a}{k_n T} t_l + \frac{1}{k_n}\left(t_a + \frac{T_{e.l}}{n}\right) \text{ min},$$

kus

$$k_n = 1 - \left(\frac{t_{org}}{T_{vah}} + \frac{t_v}{T_{vah}}\right).$$

Arvutades lõikeriistade ekspluatatsiooni- ja amortisatsioonikulutusi tõlketeksti valemi 127 ja valemi 14 põhjal, leiame lõiketöötlemise operatsiooni omahinna, kui k on lõikeriista võimalik erituste arv:

$$C_d = s_p t_n + \frac{s_a + k s_{ter}}{k+1} \frac{t_l}{T} \text{ kop.} \qquad (16)$$

Kui teha asendusi eelnevate valemite põhjal ja tähistada kulunud lõikeriista vahetamise ning abstraktset taastamis- ja teritusaega tähega b, siis

$$b = a + \frac{k k_n s_{ter}}{(k+1) s_p} + \frac{k_n s_a}{(k+1) s_p} \text{ min.} \qquad (17)$$

Valemite 4, 15 ja 17 abil saame valemi 16 uuel kujul

$$C_d = \frac{s_p}{k_n}\left(\frac{aT + b}{k_l i T}\right) + \frac{s_p}{k_n}\left(t_a + \frac{T_{e.l}}{n}\right) = C + C_c \text{ kop,} \qquad (18)$$

kus ainult valemi esimene liige oleneb lõikerežiimi valikust. Tähistame

$$q_ö = \frac{T}{aT + b} q_l \text{ l/min} \qquad (19)$$

ja nimetame seda tinglikult lõikepingi ökonoomseks tootlikkuseks. Seda võime kasutada kolmanda kriteeriumina lõikerežiimi valikul. Selle maksimumväärtuse puhul on operatsiooni omahinna muutuv liige C minimaalne, sest

$$C = \frac{s_p}{k_n} \cdot \frac{1}{q_ö} \text{ kop.} \qquad (20)$$

NLKP 1965. a. septembripleenum pani kindla aluse uuele sügavale murrangule Nõukogude Liidu majanduse juhtimise meetodites. Uue majandussüsteemi kohaselt on ettevõtete töö hindamise aluseks kaks põhinäitajat: realiseeritud kaubatoodangu maht ja kasumiplaani täitmine.

Realiseeritud kaubatoodangu maksimaalse mahu saavutamiseks tuleb tootmisvõimsuste ratsionaalsel kasutamisel anda rahvama-

jandusele kvaliteetset toodangut võimalikult madala omahinnaga. Rahvamajanduslikult on õigustatud selline maksimaalne tootlikkus, kus toote omahind tootlikkuse ühiku kohta on minimaalne. Järelikult on neljandaks kriteeriumiks näitarv, mille saame toote omahinna jagamisel töö tootlikkusega.

Näitarvu mõõtühikust selgub, kui palju kaubalisi väärtusi, milleks omakorda kulutati abstraktset tööd, on toodetud konkreetse töö minuti kestel. Mida väiksem on see näitarv, seda otstarbekamalt on toote valmistamisel kulutatud ühiskondlikult vajalikku tööd.

Neljanda kriteeriumina saab tingliku mõistena kasutada lõikepingi majanduslikku tootlikkust q_m, mis on pöördvõrdeline eelneva näitarvuga:

$$\frac{C}{q_t} = \frac{1}{q_m} = \frac{s_p}{k_n} \cdot \frac{1}{q_ö q_t} \text{ kop. min;}$$

siit saame

$$q_m = \frac{k_n}{s_p} q_ö q_t \text{ 1/kop. min.} \tag{21}$$

Viiendaks kriteeriumiks on kasum. Tegelik kasum on arvutatav valemiga

$$K_{teg} = Q(H_h - \mathcal{E}C_d) = Q(H_h - \mathcal{E}C - \mathcal{E}C_c) \text{ kop.}$$

Tähistades lõikerežiimist olenevaid ja mitteolenevaid suurusi erinevate tähtedega ja asendades toodangu koguse teoreetilise tehnilise tootlikkusega, saame teoreetilise kasumi valemi

$$K = q_t(H - C_k) \text{ kop,} \tag{22}$$

kus

$$H = H_h - \mathcal{E}C_c \text{ ja } C_k = \mathcal{E}C.$$

Valemite 13, 19 ja 20 abil saame valemi 22 järgneval kujul:

$$K = \frac{q_1 T}{\alpha T + a}\left[H - \frac{s_p \mathcal{E}}{k_n} \frac{(\alpha T + b)}{q_1 T}\right] \text{ kop.} \tag{23}$$

2. LÕIKERIISTA PÜSIVUSAJA MÄÄRAMINE MAJANDUSLIKE KRITEERIUMIDE PÕHJAL

Valides lõikerežiimi esimese majandusliku kriteeriumi põhjal, nähtub valemist 2, et lõikeprotsessi tootlikkuse suurendamiseks tuleb suurendada lõikerežiimi intensiivsust (valem 3), s. o. lõikerežiimi elemente — lõikesügavust t, ettenihet s ja lõikekiirust v.
Lõikerežiimi elementide suurendamisel väheneb lõikeriista püsivusaeg valemi 8 põhjal ning suureneb tehnilise teenindamise aja osatähtsus, mida arvestame teise majandusliku kriteeriumi kasutamisel. Analüüsime üksikult lõikerežiimi elementide mõju lõikeriista püsivusajale.
Esimesena eeldame, et lõikesügavus t ja ettenihe s on valitud ja muuta võime lõikekiirust v. Lõikekiiruse leiame valemist 8 ja asetame valemisse 2, siis

$$q_1 = k_1 C_v t^{1-x_v} s^{1-y_v} T^{-m} = k_q T^{-m} \text{ l/min}, \tag{24}$$

kus

$$k_q = k_1 C_v t^{1-x_v} s^{1-y_v}.$$

Lõikepingi tehnilise tootlikkuse saame siis

$$q_t = \frac{t_1}{t_{t.a}} q_1 \frac{1}{\text{min}}; \tag{25a}$$

$$q_t = \frac{T}{\alpha T + a} q_1 = k_q \frac{T^{1-m}}{\alpha T + a} \text{ l/min}. \tag{25}$$

Lõikeriista püsivusaja leidmiseks lõikepingi maksimaalse tehnilise tootlikkuse juures võtame valemist 25 esimese tuletise püsivusaja T suhtes ja võrdutame selle nulliga:

$$\frac{dq_t}{dT} = k_q \frac{(\alpha T + a)(1 - m) T^{-m} - \alpha T^{1-m}}{(\alpha T + a)^2} = 0.$$

Kuna $T \neq \infty$ ja $k_q \neq 0$, siis peab murru lugeja võrduma nulliga, järelikult

$$T^{-m}[(\alpha T + a)(1 - m) - \alpha T] = 0;$$

kuna $T^{-m} \neq 0$, siis

$$a - \alpha m T - a m = 0.$$

Siit leiame lõikepingi maksimaalset tehnilist tootlikkust tagava püsivusaja

$$T_t = \frac{1-m}{am} a \text{ min.} \tag{26}$$

Teiseks eeldame, et lõikesügavus t ja lõikekiirus v on valitud ning muuta võime ettenihet s, siis

$$T_t = \frac{y_v - m}{am} a \text{ min.} \tag{27}$$

Kolmandaks, kui ettenihe s ja lõikekiirus v on valitud ning muuta võime lõikesügavust t, siis

$$T_t = \frac{x_v - m}{am} a \text{ min.} \tag{28}$$

Kolmanda kriteeriumi, s. o. minimaalset omahinda tagava püsivusaja määramisel lähtume valemitest 19 ja 20, kust saame valemiga 25 analoogilise avaldise. Järelikult on analoogilised ka minimaalset omahinda tagava püsivusaja $T_ö$ valemid.
Kui on valitud lõikesügavus t ja ettenihe s ning muutub lõikekiirus v, siis

$$T_ö = \frac{1-m}{am} b \text{ min.} \tag{29}$$

Kui on valitud lõikesügavus t ja lõikekiirus v ning muutub ettenihe s, siis

$$T_ö = \frac{y_v - m}{am} b \text{ min.} \tag{30}$$

Kui on valitud ettenihe s ja lõikekiirus v ning muutub lõikesügavus t, siis

$$T_ö = \frac{x_v - m}{am} b \text{ min.} \tag{31}$$

Neljanda kriteeriumi, s. o. lõikepingi majanduslikku tootlikkust tagava püsivusaja leidmiseks lähtume valemist 21.

Tehes asendusi valemitest 13, 19 ja 24, saame valemi 21 järgnevalt:

$$q_m = \frac{k_n k_q}{s_p} \frac{T^{2-2m}}{(\alpha T + a)(\alpha T + b)} = k_{qm} \frac{T^{2-2m}}{(\alpha T + a)(\alpha T + b)} \text{ 1/min.} \tag{32}$$

Võtame eelmisest valemist esimese tuletise püsivusaja T suhtes ja võrdutame selle nulliga:

$$\frac{d_{qm}}{dT} = k_{qm} \frac{\begin{array}{c} 2(1-m)T^{1-2m}(\alpha T + a)(\alpha T + b) - \\ -[2\alpha^2 T + \alpha(a+b)]T^{2-2m} \end{array}}{(\alpha T + a)^2 (\alpha T + b)^2} = 0.$$

Kuna $\alpha T + a \neq 0$; $\alpha T + b \neq 0$ ja $k_{qm} \neq 0$, siis peab murru lugeja olema võrdne nulliga; lihtsustamisel saame:

$$T^{1-2m}\{2(1-m)[\alpha^2 T^2 + \alpha(a+b)T + ab] -$$
$$-[2\alpha^2 T + \alpha(a+b)]T\} = 0;$$

kuna $T^{1-2m} \neq 0$, siis saame taandatud ruutvõrrandi

$$T^2 - \frac{(1-2m)(a+b)}{2\alpha m} T - \frac{(1-m)ab}{\alpha^2 m} = 0.$$

Siit saame lõikepingi maksimaalset majanduslikku tootlikkust tagava püsivusaja

$$T_m = \frac{1-2m}{4\alpha m}(a+b) \pm \sqrt{\left[\frac{1-2m}{4\alpha m}(a+b)\right]^2 + \frac{1-m}{\alpha^2 m} ab} \text{ min.} \tag{33}$$

Lõikeriista püsivusaja leidmiseks viienda kriteeriumi põhjal, s. o. maksimaalse kasumi tagamiseks, lähtume valemitest 23 ja 24, siis

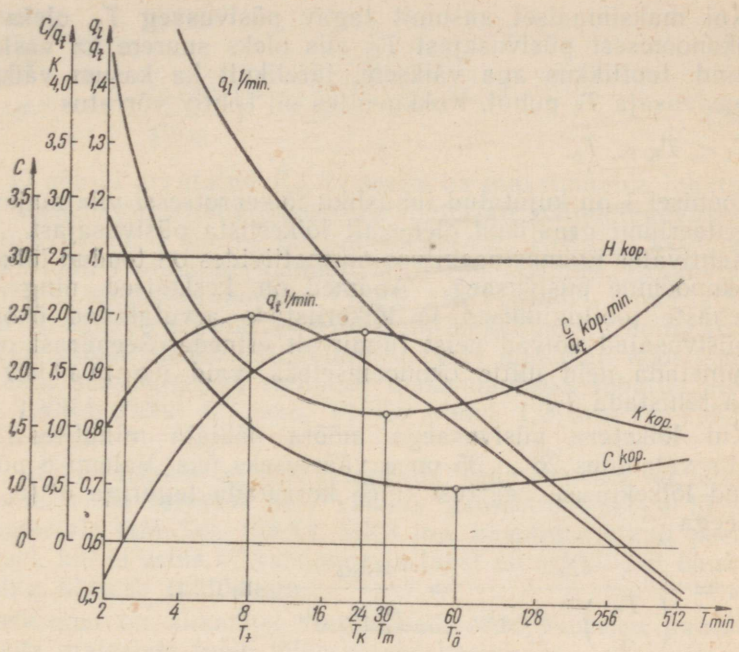
$$K = k_q \frac{T^{1-m}}{\alpha T + a}\left[H - \frac{s_p \mathcal{E}}{k_n k_q} \frac{(\alpha T + b)}{T^{1-m}}\right] =$$

$$= k_q \frac{T^{1-m}}{\alpha T + a}\left(H - k_K \frac{\alpha T + b}{T^{1-m}}\right) =$$

$$= k_q \frac{HT^{1-m} - k_K \alpha T - k_K b}{\alpha T + a} \text{ kop.} \tag{34}$$

Võtame sellest esimese tuletise püsivusaja T suhtes ja võrdutame selle nulliga, saame:

$$\frac{dK}{dT} = k_q \frac{\begin{array}{c} [(1-m)HT^{-m} - k_K \alpha](\alpha T + a) - \\ -\alpha HT^{1-m} + k_K \alpha^2 T + \alpha k_K b \end{array}}{(\alpha T + a)^2} = 0.$$



Joonis 1. Lõikeprotsessi viie majandusliku kriteeriumi q_1, q_t, C, $\frac{c}{q_t}$ ja K graafikud terase kiirtreimisel.

kuna $k_q \neq 0$ ja $\alpha T + a \neq 0$, siis peab murru lugeja võrduma nulliga ja peale lihtsustamisi saame maksimaalset kasumit tagava püsivusaja T_K leidmiseks võrrandi

$$T_K^{1-m} - \frac{1-m}{\alpha m} a T_K^{-m} - \frac{k_K}{mH}(b-a) = 0. \qquad (35)$$

Kui tootele kinnitatud hind on väga kõrge, siis eeldame, et $H = \infty$, ja saame:

$$T_K^{1-m} - \frac{(1-m)a}{\alpha m} T_K^{-m} = 0;$$

$$T_K = \frac{1-m}{\alpha m} a = T_t.$$

Tegelikkuses ei saa kinnitatud hind olla lõpmata suur, seega $T_K > T_t$.

Kui maksimaalset kasumit tagav püsivusaeg T_K oleks suurem ökonoomsest püsivusajast $T_ö$, siis oleks suurem ka vastav omahind, tootlikkus aga väiksem, järelikult ka kasum väiksem kui püsivusaja $T_ö$ puhul. Kokkuvõttes on kehtiv võrratus

$$T_t < T_K < T_ö. \tag{36}$$

Joonisel 1 on kujutatud juhusliku lõikeprotsessi viie majandusliku kriteeriumi graafikud olenevalt lõikeriista püsivusajast.
Kehtivates üldmasinaehituse normatiivides on toodud lõikeriistade ökonoomne püsivusaeg. Andmed on keskmised ning üksikute tehaste töötingimused ja lõikeriistade arvutatavad ökonoomsed püsivusajad võivad neist tunduvalt erineda. Seepärast on õigem nimetada neid mitte ökonoomseteks, vaid normatiivseteks ja tähistada T_n.
Kui lõiketera püsivusaega mõõta põhiaja minutites $T_0 = \alpha T$, siis valemites 26 ... 35 on α väärtuseks üks. Valemi 8 põhjal leitud lõikekiiruse väärtust tuleb korrutada teguriga $\alpha^m (v_0 = \alpha^m v)$, seega

$$v_0 = \frac{C_v}{\left(\frac{T_0}{\alpha}\right)^m t^{x_v} s^{y_v}} = \frac{C_v \alpha^m}{T_0^m t^{x_v} s^{y_v}} \text{ m/min}, \tag{8a}$$

$$T_0 = \frac{1-m}{m} a \text{ min} \tag{26a}$$

ja põhiaja intensiivsus

$$i_0 = \frac{i}{\alpha} \text{ cm}^3/\text{min}. \tag{3a}$$

3. LÕIKERIISTA VALIK MAJANDUSLIKE KRITEERIUMIDE PÕHJAL

Lõiketöötlemise tootlikkust saab suurendada ettenihke suurendamisel. Üheks tähtsamaks ettenihke suurendamist piiravaks teguriks on lõikeriista tugevus ja kulumiskindlus.
Normatiivides [6] on toodud järgnevad valemid lubatud vertikaalse lõikejõu arvutamiseks treiterade puhul:

$$P_{zn} = \frac{BH_t \sigma_p}{6l} \text{ kG}, \tag{37}$$

$$P_{zn} = \frac{\pi d^3 \sigma_p}{32l} \text{ kG}, \tag{38}$$

$$P_{zn} = 34 t^{0,77} C^{1,35} \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8} \text{ kG}. \tag{39}$$

Valemi 39 põhjal arvutatud P_{zn} ja seega ka maksimaalne lubatud ettenihe oleneb lõikeriista lõikeserva materjali paindetugevusest. Paindetugevus 20° C juures on kiirlõiketerasel P18 370 kG/mm², volframkarbiidist metallkeraamikal BK8 140 kG/mm², titaanvolframkarbiidist metallkeraamikal T15K6 115 kG/mm², mineraalkeraamikal ЦМ332 38 kG/mm² ja teemandil 30 kG/mm³. Üheliigiliste materjalide puhul oleneb paindetugevus veel materjali koostisest. Nii loetakse süsinikteraste treimisel maksimaalseks lubatud ettenihkeks T30K4 puhul 0,7 mm, T15K6 puhul 1,2 mm ja T5K10 puhul 2,6 mm.

Üldiselt, mida väiksem on paindetugevus, seda hapram on lõikeriista materjal ja seetõttu võib väikese paindetugevusega lõikeriista materjale ЦМ-332, T30K4, BK3 jne. kasutada ainult peentöötlemisel, kui ei esine vibratsioone ja laast on suhteliselt õhuke, pidev ning ühtlase ristlõikega.

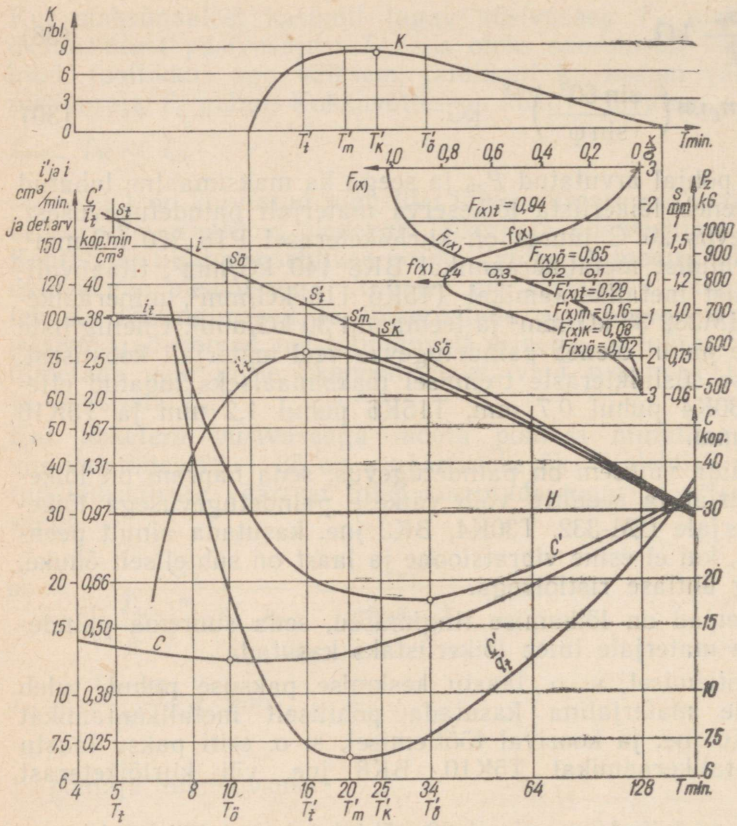
Mida raskemad on lõikamise tingimused, seda suurema paindetugevusega materjale tuleb lõikeriistaks kasutada.

Siluval töötlemisel, s. o. laastu keskmise paksuse puhul, tuleb lõikeriistade materjalina kasutada põhiliselt metallkeraamikat T15K6, BK6 jne. ja koorival töötlemisel, s. o. eriti paksu laastu puhul, metallkeraamikat T5K10, BK8 jne. või kiirlõiketerast P18.

Katseliselt on leitud, et valemi 39 põhjal lubatud lõikejõule vastava maksimaalse ettenihke puhul puruneb lõiketera väga lühikese lõikesoleku aja kestel. Mida väiksem on tegelik ettenihe, võrreldes lubatud maksimaalse ettenihkega, seda suurem on lõikeriista lõikesoleku aeg lõikeserva murenemiseni. Suhteliselt väikese ettenihke puhul vastab lõikeriista lõikesoleku aeg valemi 8 põhjal arvutatavale püsivusajale. Teadlased G. L. Haet ja L. N. Solovjov soovitavad lühiajaliste katsetega määrata maksimaalse võimaliku ettenihke s_{max} ja minimaalset omahinda tagava ettenihke $s_ö$ leidmiseks jagada seda vastava varuteguriga C_s. Nende andmetel oleneb tegur C_s tööpingist ja töötlemise tingimustest ning on piirides 2,5 ... 3,3.

Lubatud lõikejõudu on otstarbekam määrata majanduslike kriteeriumide põhjal, lähtudes lõikeriista purunemise tõenäosest sagedusest.

Joonisel 2 on näitena toodud terase kiirtreimise ($m = 0,2$; $t = 5$



Joonis 2. Kiirtreimise majanduslike kriteeriumide graafikud lõiketerale T15K6.

mm; $v = 150$ m/min; $a = 4$ min ja $b = 8$ min) lõikerežiimide intensiivsused i, i_t, i'_t, jne. olenevalt püsivusajast T.

Lõikerežiimi intensiivsused jne., kus on arvestatud osa lõikeriistade purunemist, on tähistatud primmiga, kusjuures suurused a ja b on jäetud endisteks. Tegelikult tuleks arvestada ka seda, et murenenud lõikeservaga lõikeriista teritamiseks kulub palju rohkem aega ($a' > a$) ja väheneb ka võimalik terituste arv, võrreldes ühtlaselt kulunud lõikeriistaga ($b' > b$).

Normatiivide põhjal $s > 0,75$ mm korral $y_v = 0,45$ ja valemi 27 järgi $T_t = 5$ min ning maksimaalset tootlikkust tagavaks ette-

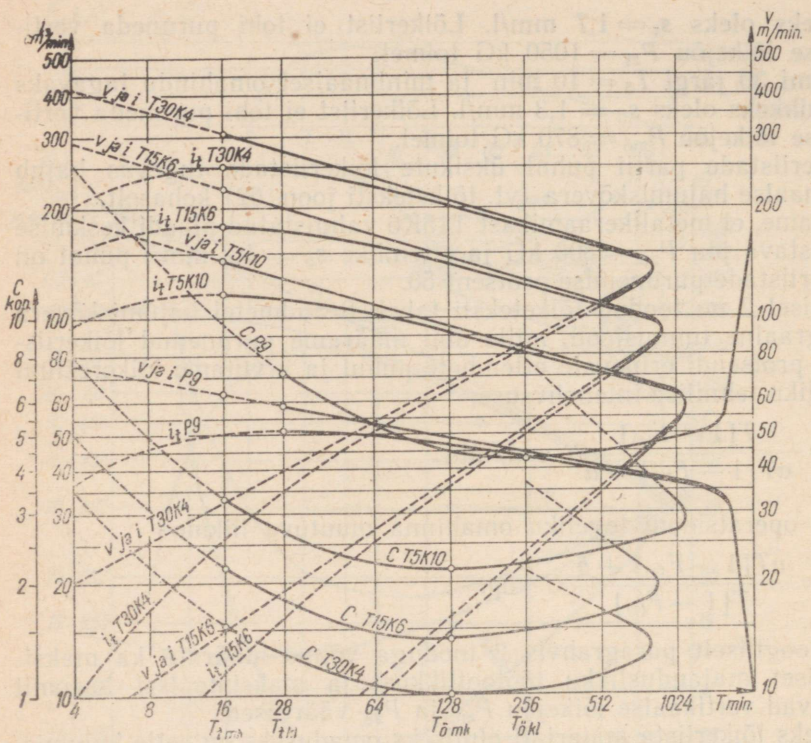
nihkeks oleks $s_t = 1{,}7$ mm/l. Lõikeriist ei tohi puruneda vertikaalse lõikejõu $P_{zt} = 1050$ kG toimel.
Valemi 30 järgi $T_ö = 10$ min ja minimaalset omahinda tagavaks ettenihkeks oleks $s_ö = 1{,}3$ mm/l. Lõikeriist ei tohi puruneda vertikaalse lõikejõu $P_{zö} = 870$ kG toimel.
Lõikeriistade partii puhul üksikute lõikeriistade tugevus hajub normaalse hajumiskõvera (vt. tõlketeksti joon. 62) kohaselt.
Eeldame, et metallkeraamikast T15K6 valmistatud plaadi keskmise purustava jõu $P_{zp} = 800$ kG ja ettenihke $s_p = 1{,}2$ mm/l puhul on lõikeriistade purunemise protsent 50.
Joonisel 2 on toodud tõlketeksti tabeli 8 andmetel hajumiskõvera integraalne tunnusjoon, mille abil määrame purunenud lõikeriistade protsendi erinevate ettenihete puhul ja arvutame lõikerežiimi tegeliku tehnilise intensiivsuse:

$$i'_t = \frac{T[1 - F_{(z)}]}{\alpha T[1 - F_{(z)}] + a} i \text{ cm}^3/\text{min}$$

ning operatsiooni tegeliku omahinna muutuva liikme

$$C' = \frac{\alpha T[1 - F_{(z)}] + b}{T[1 - F_{(z)}]} C \text{ kop.}$$

Analoogiliselt paragrahvis 2 tooduga võime määrata ka maksimaalset majanduslikku töötootlikkust ja maksimaalset kasumit tagavad vertikaalse lõikejõu P_{zm} ja P_{zK} väärtused.
Teiseks lõikeriista materjali oluliseks omaduseks on selle kulumiskindlus valemi 8 põhjal. Tõlketeksti jooniselt 3 on näha, et lõikeriista tagatahu liiga suure kulumisjälje kõrguse (üle 1 ... 2 mm) puhul suureneb tunduvalt normaalne lõikejõud P_y ja sellega võib ajapiki kaasneda lõikeriista lõikeserva purunemine ning suureneda kulunud lõikeriista vahetamise sagedus. Normatiivides toodud tagatahu maksimaalse lubatud kulumisjälje kõrguse h määramiseks on leitud, millise kulumisjälje kõrguse puhul on kulutused lõikeriistadele ühepikkusel lõiketeekonnal minimaalsed.
Lõikeriista tagatahult kulumise intensiivsus oleneb lõikekiirusest ja on analoogiline tõlketeksti joonisel 29 näidatud lõikeriista suhtelise mõõdulise kulumisega.
Tõlketeksti jooniselt 29 on näha, et teatud lõikekiirusel on kulumine läbikäidud teekonna suhtes minimaalne. Valem 8 on kehtiv ainult suurte kiiruste võrdlemisi kitsas ulatuses. Arvutatav lõikekiirus v peab olema suurem lõikeriista minimaalset kulumist põhjustavast lõikekiirusest või sama valemi põhjal arvutatav püsivusaeg T ei tohi ületada mõndasada minutit. Väiksema lõikekiiruse puhul metallkeraamiliste materjalidega plaadistatud lõikeriistade püsivusaeg lüheneb lõikekiiruse vähenemisel. Kiirlõiketerastest lõi-



Joonis 3. Lõiketera margi valikut iseloomustavad tehnilise tootlikkuse i_t ja omahinna C graafikud terase kiirtreimisel.

keriistade puhul püsivusaeg küll suureneb lõikekiiruse vähenemisel, kuid tunduvalt vähemal määral kui arvutamisel valemiga 8.

Joonisel 3 on toodud erinevate lõikeriistade materjalide tinglikud graafikud lõikekiiruse v, lõikerežiimi intensiivsuse i, lõikerežiimi tehnilise intensiivsuse i_t ja operatsiooni omahinna lõikerežiimist oleneva liikme C kohta olenevalt lõikeriista püsivusajast T. Töödeldav materjal on teras, mille $\sigma_B = 75$ kG/mm², lõikesügavus $t = 2$ mm, ettenihe $s = 0{,}5$ mm/l, nürinenud lõikeriista vahetamise aeg $a = 4$ min ning vastavalt ökonoomse püsivusaja valemis 29 esinev lõikeriista tinglik vahetamise aeg $b = 32$ min ja $\alpha = 1$.

Jooniselt 3 näeme ka erinevate lõikeriista materjalide majanduslikult põhjendatud kasutamise piire vastavalt lõikekiirusele. Lõikeriista materjali marki T30K4 tuleb kasutada, kui $v \approx 150$—310 m/min, T15K6, kui $v \approx 100$—220 m/min, T5K10, kui $v \approx 60$—140 m/min ja P9, kui $v < 60$ m/min.

4. OPTIMAALSETE LÕIKEREŽIIMIDE MÄÄRAMINE TSENTROGRAMMIDEGA

Lõikerežiimide määramisel saame mitmeid lahendeid. Kõigi nende hulgas leidub üks, progressiivseim, mis kõige paremini rahuldab mingit täiendavalt püstitatud lisatingimust. Sellist lahendit nimetame optimaalseks. Matemaatikas nimetatakse optimaalse lahendi leidmist ka lisatingimustega ekstreemumülesande lahendamiseks. Optimaalsete lahendite otsimise matemaatiliste meetodite hulka kuulub matemaatiline planeerimine, mille eriharuks on lineaarne planeerimine. Selle planeerimisülesande matemaatilise lahendusmeetodi esitas nõukogude matemaatik L. V. Kantorovitš 1939. a.

Tallinna Polütehnilises Instituudis kasutatakse lõikerežiimide määramisel 1955. a. alates graafilist lineaarset planeerimist tsentrogrammide abil [1].

Tsentrogrammide koostamisel on lõikerežiimi valikut piiravate kitsenduste (lõikerežiimi parameetrite, nagu lõikeriista püsivusaeg T, vertikaalne lõikejõud P_z, töödeldud pinna karedus R_z, lõikeprotsessiks vajalik võimsus N jne.) võrrandeile teatava ligikaudsusega antud ühtlane unifitseeritud kuju [4], näiteks

$$T = C_T t^{x_T} s^{y_T} v^{z_T} K_T \quad \min. \tag{40}$$

Kui eeldame, et ainult kaks lõikerežiimi elementi on muutuvad, ja kasutame logaritmilise jaotusega teljestikku, saame kitsenduste unifitseeritud valemeile anda sirge võrrandi kuju.

Näiteks kui on määratud lõikesügavus t, siis ettenihe s ja lõikekiirus v on muutuvad ning kitsenduse T nn. rajasirge võrrand oleks:

$$y_T \log s + z_T \log v = \log C'_T,$$

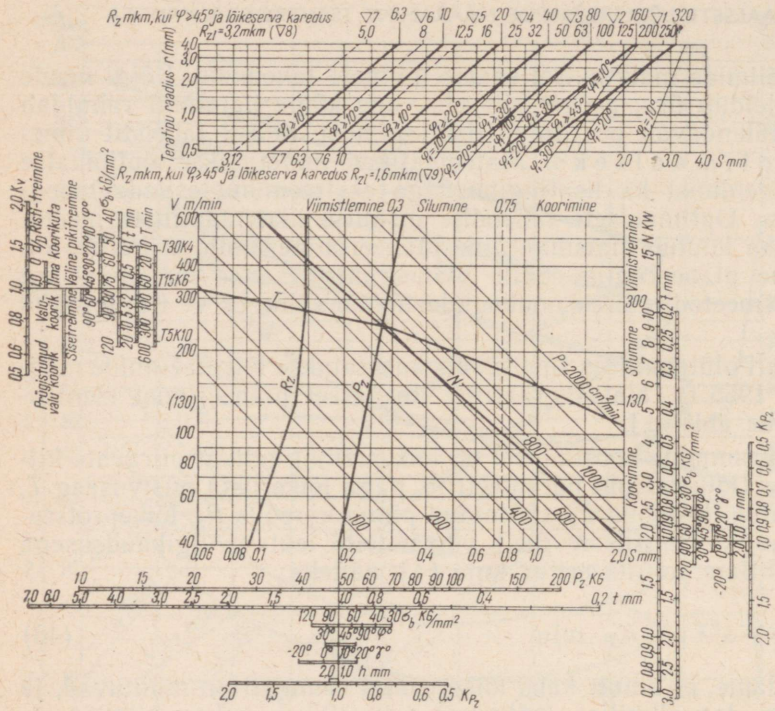
kus $\log C'_T = \log T - (\log C_T + \log K_T + x_T \log t)$;

Andes vabaliikmele kasvavad väärtused $\log C'_{T1}$, $\log C'_{T2}$, $\log C'_{T3}$ jne., saame paralleelsed sirged, sest kõikide tõusud on $-y_T/z_T$. Seega toimub vabaliikme $\log C'_T$ muutumisel rajasirge paralleellüke kindlas suunas.

Kui sirge võrrandis tundmatute s ja v kordajad (astmenäitajad valemis 40) ei muutu, vastab sirge paralleellükkele vabaliikme ($C_T K_T t^{x_T}$ valemis 40) muutumine ja vastupidi.

Seega on sirge paralleellüke samaväärne sirge võrrandi vabaliikme muutmisega. Iga sirge korral saab leida sellise paralleellükke, mis vastab vabaliikme $\log C'_T$ konkreetsele väärtusele.

Vabaliikmele $\log C'_T$ on võimalik anda mingi konkreetne väärtus



Joonis 4. Terase kiirtreimise režiimi määramise tsentrogramm, kui lõikesügavus t on teada.

ja joonestada vastav rajasirge. Rajasirgel paiknevad punktid on $\log C'_T$ jaoks samaväärtuspunktid.

Tsentrogrammil joonis 4 on algselt väljajoonestatud kitsenduste rajasirged lähteandmete põhjal, mille suurused asuvad rajasirge pikenduse kohal välisservadel asuvatel nomogrammidel. Kui tegelikud andmed erinevad lähteandmetest, siis saame nomogrammide abil määrata vajaliku paralleellükke suunda ja suurust.

Joonestatud tsentrogrammi kasutamine on mugavam, kui kanda külgmised nomogrammid kalkaribadele — saame k e e l e d, ja r a j a s i r g e d, m ä r k i j a ning üks nomogrammi sirge suurematele kalkadele — saame k e l g u d. Kelkusid ja keeli tuleb liigutada paralleelselt nomogrammi sirgetega.

Paralleellükete sooritamise lihtsustamiseks on TPI-s ehitatud vastavad aparaadid «Tsentrogrammid» [5].

Lõikerežiimide määramise aparaadil asuvad nomogrammide loga-

ritmilised skaalad aparaadi soontes liikuvatel k e e l t e l. Nomogrammide ja keskmise diagrammi kohal liiguvad aparaadi eelnevatest kõrgemal olevates soontes läbipaistvast materjalist k e l g u d, milledele nomogrammide kohale on tehtud peenike kriips, nn. m ä r k i j a, ja keskmise diagrammi kohale k i t s e n d u s t e r a j a s i r g e d. Kui kitsenduse lähteandmeid tähistav keelte skaalasid läbiv joon ja kelgu märkija asuvad aparaadi välisliistudele märgitud algasendi (tähisega —0) kohal, saab rajasirgel paiknevate punktide koordinaatide kaudu määrata samaväärse parameetriga lõikerežiimi elementide *s* ja *v* suurust.

Kui tegelik tingimuse suurus ei ühti lähtesuurusega, siis tuleb kelguga teha vastav paralleellüke, kuni kelgu märkija on tegeliku suuruse kohal. Järgnevalt hoida kelk oma kohal ja keelt lükata seni, kuni keelel olevaid skaalasid läbiv joon on täpselt kelgu märkija all.

Samu tehteid tuleb teha iga üksiku erineva tingimuse puhul. Kui kõigi tingimuste erinevused on arvestatud, siis asub kitsenduse rajasirge vajalikul kohal ja selle koordinaadid määravad lõikerežiimide elementide *s* ja *v* suurusi.

Aparaati saab kasutada ka siis, kui on vaja määrata tegelikult kasutatava lõikerežiimi parameetri teoreetiline suurus.

Algul asetatakse kelk nii, et vastava parameetri rajasirge läbib tegeliku lõikerežiimi elementide (*s* ja *v*) suurusi tähistavat punkti. Järgnevalt nihutame keelt, kuni kitsenduse lähteandmetest erinev tingimus asub märkija all. Edasi nihutame kelku, kuni märkija on keele skaalasid läbiva joone kohal.

Kui tegeliku olukorra kõik erinevused on arvestatud, siis nihutame lõpuks keelt seni, kuni keele skaalasid läbiv joon on aparaadi serval oleva keele algasendit tähistava märgi kohal. Kitsenduse, s. o. lõikerežiimi parameetri teoreetiline suurus on loetav keele märkija all.

Joonestatud tsentrogrammil on võimalik vajalikke paralleellükkeid asendada sirkli abil nomogrammi skaalalt võetavaid suurusi algebraliselt liites. Nii saame rajasirge lõppasendit tähistava skaalasid läbiva joone asukoha, mille järgi saame tõmmata ka tegelike andmete kohase rajasirge.

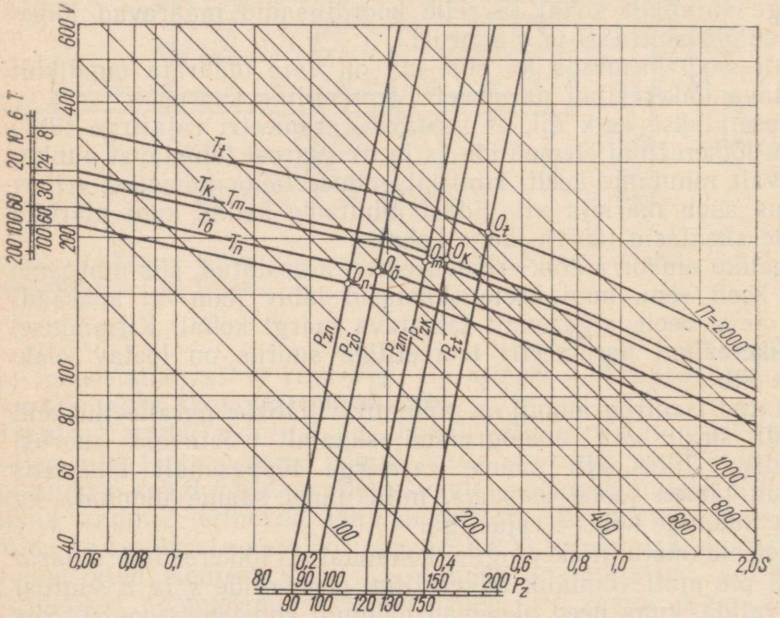
Konkreetsele metallilõikepingile kohandatud lõikerežiimi määramisel ei ole alati võimalik lõikerežiimi elementide *s* ja *v* suurusi vabalt valida, kuna need olenevad tööpingi konstruktsioonist. Siis tuleb kasutada kitsenduste võrratusi. Kuna kitsendusi on mitmeid ja igale kitsendusele võime anda erineva majandusliku kriteeriumi kohase võrratuse, siis saame tundmatute leidmiseks võrratuste süsteemi. Süsteemi lahendiks on arvude kogum, mis rahuldab samaaegselt süsteemi iga võrratust.

Süsteemi graafilisel lahendamisel leiame algul iga võrratuse

lahendite hulga — vastava pooltasandi ja seejärel nende ühise osa, mis ongi süsteemi lahend.
Näiteks neljast võrratusest koosneva süsteemi

$$y_T \log s + z_T \log v \leqslant \log T_t - (\log C_T + \log K_T + x_T \log t)$$
$$y_T \log s + z_T \log v \geqslant \log T_{ö} - (\log C_T + \log K_T + x_T \log t)$$
$$y_{P_z} \log s + z_{P_z} \log v \leqslant \log P_{zt} - (\log C_{P_z} + \log K_{P_z} + x_{P_z} \log t)$$
$$y_{P_z} \log s + z_{P_z} \log v \geqslant \log P_{zö} - (\log C_{P_z} + \log K_{P_z} + x_{P_z} \log t)$$

lahendite piirkonnaks on joonisel 5 kujund, mis on piiratud rajasirgetega T_t, $T_{ö}$, P_{zt} ja $P_{zö}$.
Optimaalne lahend on kitsenduste seoste lahend, mis rahuldab veel mingit lisatingimust, nn. sihifunktsiooniga antud nõuet. Optimaalsete lõikerežiimide määramisel [1] on lisanõudeks valitud esimene majanduslik kriteerium, s. o. lõikeprotsessi pinnatootlikkus (10 *vs* cm²/min või 10 *tv* cm²/min) või laastu ristlõige (0,01*ts* cm²).



Joonis 5. Optimaalsete lõikerežiimide (O_n, $O_{ö}$, O_m, O_K ja O_t) määramine tsentrogrammilt normatiivsete, majandusliku tootlikkuse, ökonoomse tootlikkuse, tehnilise tootlikkuse ja kasumi kriteeriumide alusel lõikeriista püsivusaja (T_n, $T_{ö}$, T_m, T_K ja T_t) ja lubatud vertikaalse lõikejõu (P_{zn}, $P_{zö}$, P_{zm}, P_{zK} ja P_{zt}) rajasirgete kaudu.

Valime sihifunktsiooniks esimese majandusliku kriteeriumi, s. o. lõikeriista lõikesoleku aja ja nimetame optimaalseks lõikerežiimi, mis arvestades kitsendusist tulenevaid tingimusi annab lõikerežiimi maksimaalse intensiivsuse, s. o. tagab lõikeriista lõikesoleku minimaalse aja.

Optimaalse lahendi leidmiseks tuleb leida lahendite piirkonna mingi tipu koordinaadid, kus sihifunktsiooni väärtus on ekstreemne. Süsteemist eraldatakse rajasirgete võrrandid, mille lõikumisel tekkis tipp, ja lahendatakse süsteemina. Võrrandisüsteemi lahendid ongi tipu koordinaadid, seega optimaalsed lahendid.

Joonisel 5 on kujutatud kahe kitsenduse, püsivusaja T ja vertikaalse lõikejõu P_z ning viie kriteeriumi — normatiivse, ökonoomse, majandusliku, maksimaalse kasumi ja maksimaalse tehnilise tootlikkuse kümme rajasirget.

Võttes erinevate kriteeriumide kitsenduste võrrandid paarikaupa, leiame neile vastavad optimaalsed lahendid.

Normatiivsed kitsendused T_n ja P_{zn} määravad optimaalset normatiivset lõikerežiimi tähistava tipu O_n koordinaadid; ökonoomsuse kriteeriumi kitsendused $T_ö$ ja $P_{zö}$ määravad optimaalset ökonoomset lõikerežiimi tähistava tipu $O_ö$ jne. Punktis O_m on optimaalne majanduslik lõikerežiim; punktis O_k on maksimaalset kasumit tagav optimaalne lõikerežiim ja punktis O_t on maksimaalset tehnilist tootlikkust tagav lõikerežiim.

5. METALLILÕIKEPINGIL KASUTATAVA LÕIKEREŽIIMI TASEME HINDAMINE OLENEVALT LÕIKERIISTA PÜSIVUSAJAST.

Lõikerežiimi taseme ehk progressiivsuse hindamisel kasutatakse vastavat näitarvu, mis väljendab tegelikult kasutatava lõikerežiimi majandusliku kriteeriumi suhet tema antud tingimustel võimaliku teoreetiliselt ekstreemse väärtusega.

Arvutuste lihtsustamiseks tuleb kriteeriumide valemeis kasutada ainult seda tegurit, mis otseselt mõjutab lõikeriista püsivusaega, seega ka lõikerežiimi intensiivsust.

Lõikeriista püsivusaega kõige rohkem mõjutav lõikerežiimi element on lõikekiirus. Seepärast kasutame lõikerežiimi taseme hindamisel valemeid, kus lõikesügavus t ja ettenihe s on muutumatud.

Lõikekiirus avaldub valemist 8 järgmiselt:

$$v = k_v T^{-m} \text{ m/min}, \qquad (41)$$

kus

$$k_v = \frac{C_v}{t^{x_v} s^{y_v}};$$

Lõikerežiimi intensiivsus valemitest 3 ja 8:

$$i = k_i T^{-m} \text{ cm}^3/\text{min}, \tag{42}$$

kus $k_i = C_v t^{1-x_v} s^{1-y_v}$.

Lõikeriista tehniline intensiivsus valemitest 3, 8 ja 42:

$$i_t = k_i \frac{T^{1-m}}{aT + a} \text{ cm}^3/\text{min}. \tag{43}$$

Operatsiooni omahinna muutuv liige valemitest 19, 20 ja 24:

$$C = \frac{s_p}{k_n k_q} \frac{aT + b}{T^{1-m}} = k_ö \frac{aT + b}{T^{1-m}} \text{ kop.}, \tag{44}$$

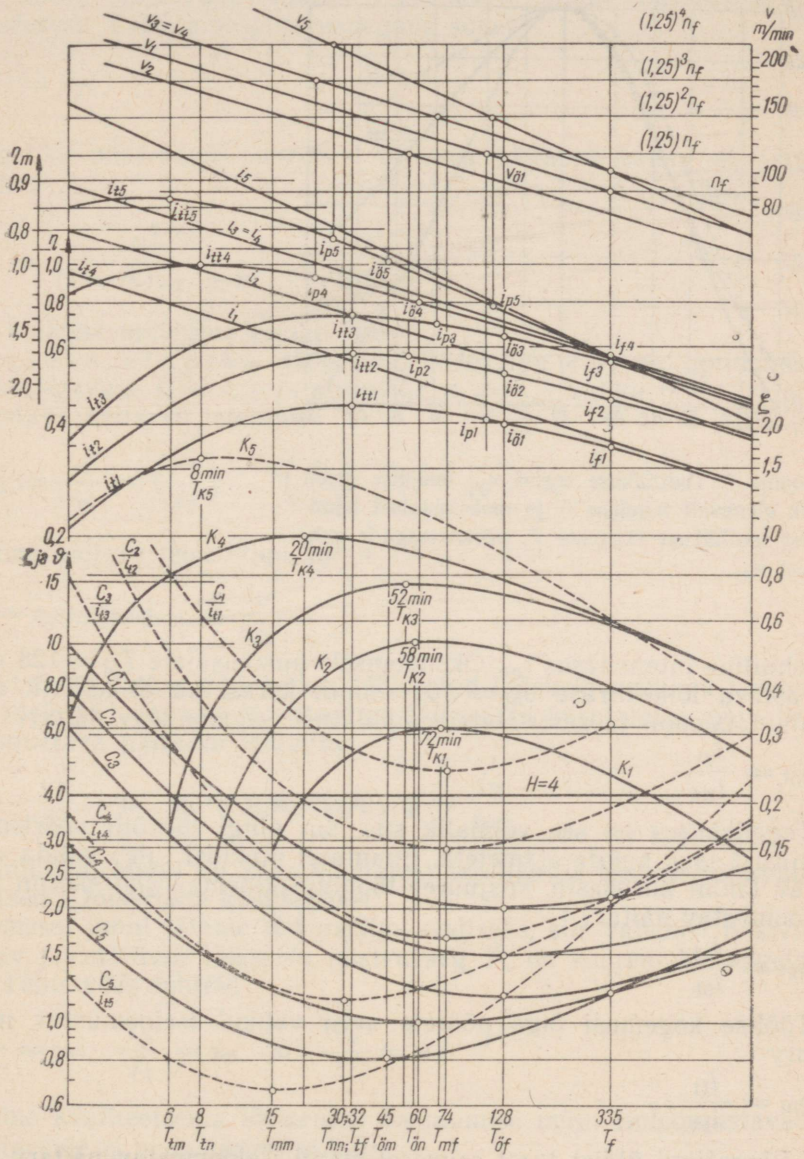
kus $k_ö = \frac{s_p}{k_n k_q}$.

Et selgitada lõikerežiimi taseme näitarvude süsteemi olemust, vaatleme tootlikkust iseloomustavaid näitarve joonisel 6, kus on näidatud erinevate suuruste olenevus lõikeriista püsivusajast ühe juhuslikult fikseeritud kiirtreimise režiimi kohta. Skaalad on logaritmilised ja v_1; v_2; v_3; v_5; i_1; i_2; i_3; i_5; H tunnusjooned ning pöörlemiskiiruse tunnusjooned on sirged. Teised tunnusjooned ei ole sirged.

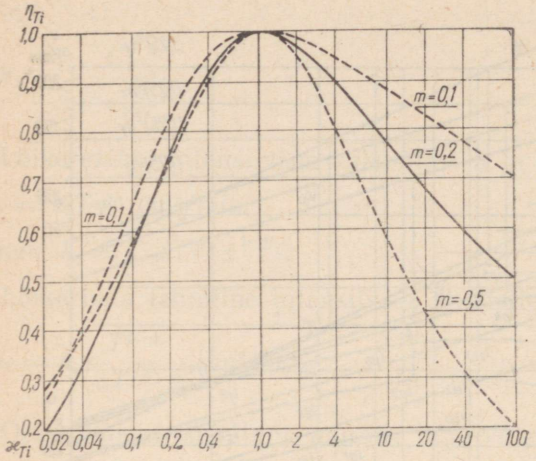
Kõik töökoha tegelikku olukorda, s. o. esimest etappi tähistavad tunnusjooned on tähistatud indeksiga «1». Tunnusjooned v_1, n_f, i_{t1}, K_1, $\frac{C_1}{i_{t1}}$ ja C_1 läbivad tegeliku lõikerežiimi püsivusaja T_f sirget vastavates punktides i_{f1} jne. Tunnusjoonte lähteandmeteks on lõikeriista tegelik kvaliteet, seega $m_1 = 0{,}2$ ja $C_{v1} = C_{vf}$ valemist 8, tegelik lõikerežiim, $t_1 = t_f$; $s_1 = s_f$ ja $v_1 = f(n_f)$ ja töökoha organiseerimise tegelik tase, s. o. $a_1 = a_f = 8$ min, $b_1 = b_f = 32$ min ning vastavalt $T_{t1} = T_{tf} = 32$ min ja $T_{ö1} = T_{öf} = 128$ min. Tegelik lõikeriista püsivusaeg töökohal oli $T_f = 335$ min.

Metallilõikepingi tegeliku tehnilise tootlikkuse taseme näitarvu tähistame tähega η ja arvutame selle püsivusajale T_t vastava tehnilise tootlikkuse suhtes.

Esimesel etapil on maksimaalset tehnilist tootlikkust tagavaks lõikeriista püsivusajaks $T_{tf} = 32$ min ning sellele vastav lõikeriista



Joonis 6. Lõikerežiimi taset iseloomustavate majanduslike kriteeriumide näitarvude ζ, η, ϑ, ξ graafikud terase kiirtreimisel.



Joonis 7. Tootlikkuse teguri η_{Ti} leidmise graafik olenevalt tegeliku T_i ja maksimaalset tehnilist tootlikkust tagavate T_t püsivusaegade suhtest $\varkappa_{Ti}$.

tehniline intensiivsus i_{tt1}. Ökonoomsele püsivusajale $T_{ö1} = 128$ min vastava lõikekiiruse $v_{ö1} = 109$ m/min korral on lõikeriista ekspluatatsiooni- ja amortisatsioonikulutusi iseloomustav näitarv

$$\eta_{ö1} = \frac{i_{ö1}}{i_{tt1}}.$$

Tegelikkuses on see võimalik siis, kui pingi töövõlli pöörlemiskiirust saab muuta astmeteta. Enamusel pinkidel tuleb valida vastav lähim kiirusaste, kusjuures tööpingi kinemaatilist skeemi iseloomustav näitarv

$$\eta_{p1} = \frac{i_{p1}}{i_{ö1}}.$$

Töölise kogemusi õige pöörete arvu valikul iseloomustav näitarv

$$\eta_{n1} = \frac{i_{f1}}{i_{p1}}.$$

Lõikerežiimi üldist taset esimesel etapil iseloomustav näitarv

$$\eta_1 = \eta_{ö1}\eta_{p1}\eta_{n1} = \frac{i_{ö1}}{i_{tt1}}\frac{i_{p1}}{i_{ö1}}\frac{i_{f1}}{i_{p1}} = \frac{i_{f1}}{i_{tt1}}.$$

Eelnevate näitarvude suurused olenevad ainult püsivusaegade suurusest. Tähistame püsivusaegade suhet

$$\frac{T_1}{T_t} = \varkappa_T.$$

Tegeliku püsivusaja suurusest oleneva näitarvu valem on järgmine:

$$\eta_{Ti} = \frac{\varkappa_{Ti}^{1-m}}{(1-m)\varkappa_{Ti} + m};$$

η_{Ti} suuruse määrame ka jooniselt 7.

Teiseks etapiks, tähistatud indeksiga «2», on optimaalse lõikesügavuse $t_2 = t_{opt}$ ja ettenihke $s_2 = s_{opt}$ valiku mõju iseloomustava näitarvu leidmine:

$$\eta_{opt} = \frac{i_{f1}}{i_{f2}} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1-x_v} \left(\frac{s_1}{s_2}\right)^{1-y_v};$$

üldine näitarv teise etapi kohta

$$\eta_2 = \eta_{\delta 2}\eta_{p2}\eta_{n2}\eta_{opt} = \frac{i_{f1}}{i_{tt2}}.$$

Kolmandaks etapiks, tähistatud indeksiga «3», on normatiividele [6] vastava kvaliteediga lõikeriista kasutamise mõju iseloomustava näitarvu leidmine:

$$\eta_l = \frac{i_{f2}}{i_{f3}}; \quad \text{ja} \quad \eta_3 = \eta_{\delta 3}\eta_{p3}\eta_{n3}\eta_{opt}\eta_l = \frac{i_{f1}}{i_{tt3}}.$$

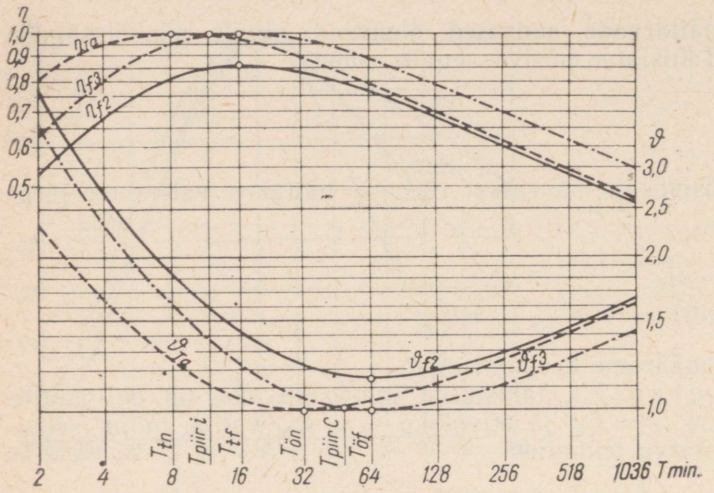
Kolmandal etapil on kaks võimalust tootlikkuse tõstmiseks kvaliteetsema lõikeriista kasutamisel.

Esimesel juhul jätame lõikerežiimi endiseks, siis valemist 8 arvutatav normatiivse lõiketera püsivusaeg T_a on suurem kui tegelik T_f. Tähistades suhteid

$$\frac{T_f}{T_t} = \varkappa_f; \quad \frac{T_a}{T_t} = \varkappa_n \quad \text{ja} \quad \frac{T_a}{T_f} = \varkappa_a,$$

saame kvaliteetsema lõikeriista kasutamise mõju iseloomustavale näitarvule η_l anda järgmise kuju:

$$\eta_{lT_a} = \frac{i_{T_a}}{i_{f2}} = \frac{(1-m)\varkappa_f\varkappa_a + \varkappa_a m}{\varkappa_n(1-m) + m}.$$



Joonis 8. Kvaliteetsema lõiketera majanduslike kriteeriumide i ja C võrdlusgraafikud terase kiirtreimisel ($m = 0{,}2$; $a = 4$ min. ja $b = 8$ min.). Töötlemistingimusi tähistavad indeksid on järgmised: f_2 — tegeliku kvaliteediga lõiketera, f_3 — kvaliteetsema lõiketera puhul on suurendatud lõikekiirust niipalju et püsivusaeg jääb endiseks, T_a — kvaliteetsema lõiketera puhul on lõikekiirus jäetud endiseks ja seega suureneb püsivusaeg. Püsivusaja suurenemise mõju on graafikul tinglikult asendatud lõiketera tehnilise teenindamise aegade a ja b vähenemisega.

Teisel juhul valime valemi 8 põhjal arvutatava lõikekiiruse v_a tegeliku T_f puhul. Tähistades siis

$$\frac{v_a}{v_f} = \left(\frac{T_a}{T_f}\right)^m = \varkappa_a^m,$$

saame näitarvu valemiks

$$\eta_{lv_a} = \frac{i_{f2}}{i_{f3}} = \varkappa_a^m.$$

Võrreldes mõlema variandi näitarve, saame:

$$\eta_{T_v} = \frac{\eta_{l_{T_a}}}{\eta_{lv_a}} = \frac{\varkappa_a^{1-m}\varkappa_f(1-m) + m\varkappa_a^{1-m}}{\varkappa_n(1-m) + m}$$

Kui mõlema variandi näitarvud on võrdsed, siis

$$\varkappa_a^{1-m}\varkappa_f(1-m) + m\varkappa_a^{1-m} = \varkappa_n(1-m) + m$$

ja saame piirdelise suhte

$$\varkappa_{fp} = \frac{m(1-\varkappa_a^{1-m})}{(1-m)\varkappa_a(\varkappa_a^{-m}-1)},$$

millele vastav piirdeline püsivusaeg

$$T_{piir} = \varkappa_{fp} T_t = \frac{(1-\varkappa_a^{1-m})}{\varkappa_a^{1-m}-\varkappa_a} a = \beta a.$$

Lõikeriista kvaliteedi tõstmisel $\varkappa_a > 1$ ja

$$\beta < \frac{1-m}{m} \quad \text{ning} \quad T_{piir} < T_t.$$

Õigel lõikerežiimil $T_f > T_t$ ja seega tuleb lõiketera kvaliteedi parendamisel tõsta ka lõikekiirust, mitte aga töötada endise lõikerežiimiga ja loota kasu lõikeriista pikenenud püsivusajast, nagu nähtub jooniselt 8.

N e l j a n d a l e t a p i l, tähistatud indeksiga «4», on kasutatud lõikeriistade tsentraliseeritud teritamist, siis $a_4 = a_n = 2$ min ja vastavalt $b_4 = b_n = 15$ min.

Kui $a_f = \varkappa_t a_4$, siis vastav näitarv

$$\eta_a = \frac{i_{f3}}{i_{f4}} = \frac{T_f + a_4}{T_f + \varkappa_t a_4} = \frac{(1-m)\varkappa_f\varkappa_t + 1}{(1-m)\varkappa_f\varkappa_t + \varkappa_t}$$

ja üldine näitarv neljanda etapi puhul

$$\eta_4 = \eta_{ö4}\eta_{p4}\eta_{n4}\eta_{opt}\eta_l\eta_a = \frac{i_{f1}}{i_{tt4}}.$$

V i i e n d a e t a p i puhul oleme täiendavate katsetega leidnud, et püsivusaja T tegelik astmenäitaja m_f valemist 8 erineb normatiivsest.

Kui tähistame $m_f = \varkappa_m m$, $T_f = \varkappa_5 T_{tm}$ ja $T_f = \varkappa_4 T_{tn}$, siis

$$\frac{i_f}{i_{tt5}} = \frac{\varkappa_5^{1-\varkappa_m m}}{(1-\varkappa_m m)\varkappa_5 + \varkappa_m m}; \quad \frac{i_f}{i_{tt4}} = \frac{\varkappa_4^{1-m}}{\varkappa_4(1-m)+m};$$

$$\eta_m = \frac{\varkappa_5^{(1-\varkappa_m m)}[\varkappa_4(1-m)+m]}{[\varkappa_5(1-\varkappa_m m)+\varkappa_m m]\varkappa_4^{1-m}};$$

ja

$$\eta_5 = \eta_{\ddot{o}5}\eta_{p5}\eta_{n5}\eta_{opt}\eta_{l}\eta_{a}\eta_{m} = \frac{i_f}{i_{tt5}};$$

Analoogiliselt leiame ka näitarvud ô lõikerežiimi taseme hindamiseks operatsiooni omahinna alusel. Teades lõikerežiimi taset iseloomustavaid tootlikkuse ja omahinna näitarve, leiame majanduslikkuse (ζ) ja kasumi näitarvud (ξ).
Joonisel 6 on ühe juhusliku siirde kohta toodud kõik eelkirjeldatud näitarvude olenevused lõikeriista püsivusajast.

6. LÕIKEREŽIIMIDE KORRIGEERIMINE

Tööline valib lõikerežiimi oma kogemuste või tehnoloogi juhendite kohaselt.
Valitud lõikerežiimi otstarbekust näitab tegelik töö. Kui lõikeriista püsivusaeg erineb tunduvalt majanduslike kriteeriumide kohaselt määratud püsivusajast, siis halvenevad lõikerežiimi taseme näitarvud (joon. 6).
Kui lõikeriista tugevus ei ole küllaldane, suureneb purunenud lõikeriistade hulk, väheneb tootlikkus ja suureneb omahind (joon. 8).
Analoogiliselt mõjutab lõikerežiim ka teisi parameetreid R_z, N jne.
Milline neist parameetreist on antud konkreetsel juhul lõikerežiimi korrigeerimisel piirdeline, hindab kogenud tööline töö käigus, samuti hindab ta põhjust, mis piirab lõikerežiimi taseme tõstmist.
Kui lõikerežiimi madal tase on tingitud liiga väikese intensiivsusega lõikeprotsessist, tuleb otsustada, missuguste lõikerežiimi elementide muutmine tagab suurema intensiivsuse, pidades silmas lõikerežiimi lubatud parameetreid. Liiga suure intensiivsusega lõikeprotsessi puhul, kui mõne parameetri lubatud piir on ületatud, tuleb otsustada, missuguseid lõikerežiimi elemente on antud juhul kasulikum vähendada, et lõikeprotsessi tase väheneks minimaalselt.
Lõikerežiimi korrigeerimisel on kaks etappi.
Esimeseks etapiks on tegeliku lõikerežiimi mingi olulise parameetri tunduv erinemine tehnoloogi antud suurusest.
Olgu valitud lõikerežiimi elemendid t_1, s_1 ja v_1 ja lõikeprotsessi intensiivsus $i_1 = t_1 s_1 v_1$ ning parameetriks T_1. Lõikerežiimi parameetri T vajaliku suuruse saame tegeliku parameetri korrutamisel teguriga v_T:

$$T = v_T T_1.$$

Valemist 40 näeme, et lõikesügavust tuleb korrutada teguriga

$$v_t = v_T^{\frac{1}{x_T}} = v_i.$$

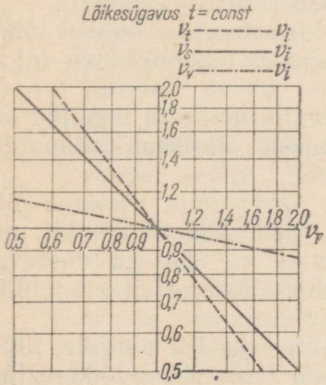
Lõikeprotsessi intensiivsus muutub sellega võrdeliselt.
Ettenihke muutmisel kasutatakse tegurit

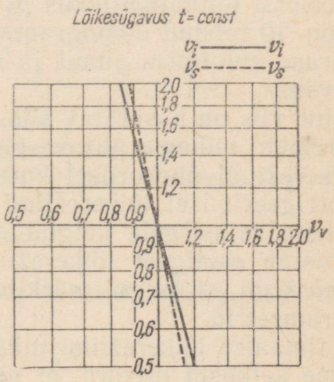
$$v_s = v_T^{\frac{1}{y_T}} = v_i$$

ja lõikekiiruse muutmisel tegurit

$$v_v = v_T^{\frac{1}{z_T}} = v_i$$

Tegurite suurused on määratavad nomogrammilt joon. 9, kui $x_T = -0{,}75$, $y_T = -1$ ja $z_T = -5$.
Nomogrammilt joon. 9 on näha, et lõikeprotsessi intensiivsuse suurendamiseks tuleb esmajärjekorras suurendada lõikesügavust, järgnevalt ettenihet ja alles siis lõikekiirust.
Ka tsentrogrammilt joon. 4 on näha, et juhul, kui tegelikku lõikerežiimi tähistav punkt asub allpool püsivusaja rajasirget T, siis on otstarbekam suurendada ettenihet, mitte lõikekiirust. Lõikerežiimi intensiivsust tuleb suurendada siis, kui on vajalik lühendada





Joonis 9. Lõikerežiimi ühe parameetri — püsivusaja T — korrigeerimise nomogramm.

Joonis 10. Lõikerežiimi intensiivsuse i korrigeerimise nomogramm ühe parameetri — püsivusaja T — piires.

püsivusaega. Olukorra lõplikul hindamisel pidada silmas joonisel 6 toodud graafikuid, mille abil leiame majanduslike kriteeriumide põhjal määratavaid lõikeriista vajalikke püsivusaegu.

Teiseks etapiks on olukord, kui tegeliku lõikerežiimi üks piirdeline parameeter vastab nõuetele, teine aga tunduvalt erineb. Siis saab optimaalse lõikerežiimi leida kahel viisil.

Lihtsam on järkjärguline menetlus, kus muudame lõikerežiimi elemente astmeliselt nii, et põhiline parameeter jääks muutumatuks ja teise parameetri suurus läheneks pidevalt vajalikule suurusele.

Vastavate tegurite leidmiseks oletame, et põhiline parameeter T on leitud ega muutu korrigeerimise kestel. Kui lõikesügavus t on muutumatu, siis muutes kiirust v_v korda:

$$v = v_v v_1$$

tuleb ettenihet muuta

$$s = s_1 v_v^{-\frac{z_T}{y_T}}$$

ja lõikeprotsessi intensiivsus muutub:

$$i = i_1 v_v^{1-\frac{z_T}{T}}.$$

Tsentrogrammilt joon. 4 näeme, et kui esialgset lõikerežiimi tähistav punkt asus rajasirgel T, siis vertikaalse lõikejõu P_z suurendamiseks tuleb suurendada ettenihet, vähendades lõikekiirust. Lõikeprotsessi pinnatootlikkus p_0 aga suureneb sellele vaatamata.

Joon. 10 toodud nomogramm näitab, kuidas muuta ettenihet lõikekiiruse muutmise puhul ja milliseks kujuneb lõikeprotsessi intensiivsus.

Teine viis on kasutatav siis, kui on võimalik määrata tegeliku lõikerežiimi mõlema piirava parameetri suurust, siis saab optimaalse lõikerežiimi ühekordsel korrigeerimisel.

Korrigeerimisel lõikerežiimi määramise aparaadiga asetame piirdeliste rajasirgete kelgud nii, et rajasirged läbiksid punkti, mis tähistab esialgset lõikerežiimi. Järgnevalt asetame ka vastavad keeled nii, et kelgu märkija alla jääksid lõikerežiimi tegelikud parameetrid.

Optimaalse lõikerežiimi määramiseks, jättes keeled paigale, nihutame kelkusid niivõrd, et nende märkijad tähistaksid lõikerežiimi parameetrite ettenähtud suurusi. Rajasirgete ristumispunkti koordinaadid ongi siis optimaalse lõikerežiimi elementideks.

Korrigeerimismenetlustega saame lõikerežiimi kõige paremini kohandada tegelikele tingimustele ja töödelda toorikuid optimaalsete lõikerežiimidega.

Lisa 1 tekstis selgitamata tähiseid

B — lõiketera keha laius mm;
c — metallkeraamilise plaadi paksus mm;
D_v — mahatöödeldava töötlemisvaru välisläbimõõt mm;
d — lõiketera keha läbimõõt mm;
H — lõiketera keha kõrgus mm;
k_z — lõikeriista lõikesoleku minuti kestel mahatöödeldud töötlemisvaru ja lõikerežiimi intensiivsuse suhe;
k_h — lõikeriista mõõtuseadmiste arv kuni selle vahetamiseni;
k_k — lõikeserva taastamiste arv kuni lõikeriista vahetamiseni;
L — töödeldava pinna pikkus ettenihke sihis mm;
l — lõiketera üleulatus mm;
l_t — lõikeriista ettenihke teekond mm;
n — detailide arv partiis;
Q — toodangu kogus ajaühikus;
s_a — lõikeriista maksumus kop;
s_{ter} — terituse maksumus kop;
s_{mt} — normatiivne masintunni maksumus kop/h;
s_l — lõikeriista normatiivsed ekspluatatsioonikulutused masintunni kohta kop /h;
s_t — töölise põhi- ja lisatöötasu kop/min;
s_s — seadistaja põhi- ja lisatöötasu kop/min;
s_p — lõikepingi ühe minuti töötlemisaja maksumus kop/min;
$T_{e.l}$ — töö ettevalmistamis-lõpetamisaeg min;
T_v — lõikeriista vahetamiseks kuluv aeg min;
T_{va} — vahetuse kestus min;
t_h — lõikeriista mõõtuseadmise aeg min;
t_k — lõikeserva taastamise aeg min;
t_{ter} — lõikeriista teritamise aeg min;
$t_{t.a}$ — lõikepingi töö aeg, s. o. põhiaja ja tehnilise teenindamise aja summa min;
$t_{k.m}$ — mittetootlikuks tööks kulutatud aeg vahetuses min;
$t_{k.o}$ — vaheaeg (seisak) vahetuses organisatsioonilistel ja tehnilistel põhjustel min;
$t_{k.t}$ — töölisest sõltuv vaheaeg vahetuses min;
t_a — abiaeg min;
$\mathcal{E}$ — tegur, mis arvestab tasu põhifondide ja käibevahendite eest, tehase üld- ja kaubanduslikke kulutusi jne.;
σ_p — lubatud paindepinge kG/mm²;
φ — lõikeserva peanurk plaanis, kraadides.

Kasutatud kirjandus

1. E. Liiver. Optimaalse lõikerežiimi määramine kiirtreimisel. Tln., ERK, 1955.
2. E. Liiver. Uudne korrigeerimise menetlus lõikerežiimi määramiseks kiirtreimisel. ENSV MN Riiklik Teaduslik-tehniline Komitee. Tln., 1959.
3. Э. О. Лийвер. Методика корректирования режимов скоростного точения и обработки отверстия. — Сб. статей по машиностроению 1. Труды Таллинского политехнического института. Серия А, № 211. Таллин, 1964.
4. Э. О. Лийвер. Унифицированные формулы и центрограммы для определения режимов скоростного точения и обработки отверстий. — Сб. статей по машиностроению 1. Труды Таллинского политехнического института. Серия А, № 211.
5. Э. О. Лийвер и Ю. Л. Саранди. Прибор для определения режимов резания. Описание изобретения к авторскому свидетельству. № 167376. Бюллетень № 1. 1965.
6. НИБТН. Режимы резания черных металлов инструментом, оснащенным твердым сплавом. М., Машгиз, 1958.

N. ŠTŠEGLOV

TEHNOLOOGILINE DOKUMENTATSIOON

Toodete, sõlmede ja detailide valmistamise tehnoloogiliste protsesside sisu ja struktuur fikseeritakse erilistes dokumentides vastavate kirjete ja eskiisidega. Seda kirjete ja eskiiside kompleksi nimetatakse tehnoloogiliseks dokumentatsiooniks.
Erinevate tootmistüüpide juures (mass-, seeria-, individuaal-) ja erinevates tehastes kasutatakse käesoleval ajal selleks mitmesuguseid erinevaid vorme. On väga oluline, eriti elektronarvutustehnika rakendamise seisukohast, ühtlustada tehnoloogiline dokumentatsioon kõikides tehastes.
Selleks otstarbeks on masina- ja aparaadiehituses ette nähtud tehnilise juhendmaterjalina vormide nomenklatuur ning kujundamine **PTM 94-63 ... PTM 103-63** (Формы технологической документации) järgi [1].

Kõikidele tootmistüüpidele ühised vormid:
1) tehnoloogilise protsessi tiitelleht, vorm To1 või To1a (PTM 94-63);
2) tehnoloogilise protsessi marsruudi-(koond-) kaart, vorm To2 või To2a (PTM 94-63). Kaart koostatakse iga detaili kohta eraldi;
3) eskiiside, skeemide ning seadistuste kaardid, vorm To3 ja To3a (PTM 94-63). Kasutatakse juhul, kui tehnoloogilise protsessi kaarti on vaja täiendada eskiisidega, skeemidega või seadistuskaartidega;
4) tehnoloogiliste rakiste koondnimekiri, vorm To4 (PTM 94-63). Nimekiri koostatakse eraldi spetsiaalsete ja normaliseeritud rakiste osas iga toote kohta.

Individuaal- ja väikeseeriatootmises kasutatakse tavaliselt nn. marsruuttehnoloogiat, mille dokumentide kompleksi kuuluvad vormid: To1 või To1a; To2 või To2a; vajaduse korral vormid To3 või To3a; To4.
Marsruudikaart on antud juhul põhiliseks dokumendiks. Detaili valmistamise tehnoloogiline protsess on liigitatud üksikuteks operatsioonideks. Operatsiooni struktuur, detaili paigaldus pinki ning töötlemise režiim ei ole reglementeeritud.
Keeruliste detailide valmistamisel tarvitatakse vorme: valamine — Тл1; Тл6; materjali juurdelõikus — Тр2; sepistamine — Ткш1; Ткш1а; külmstantsimine — Ткш2; Ткш2а; mehaaniline töötlemine — Тм1; Тм1а; Тм2; termiline töötlemine — Тт1; Тт1а; galvaanilised katted — Тг1; Тг1а; Тг2; värvimine ja pinnakatted — Тлк1; Тлк1а; Тлк2; koostamine-keevitamine ja gaasiga lõikamine — Тс1; Тс1а; Тс3; Тс3а.

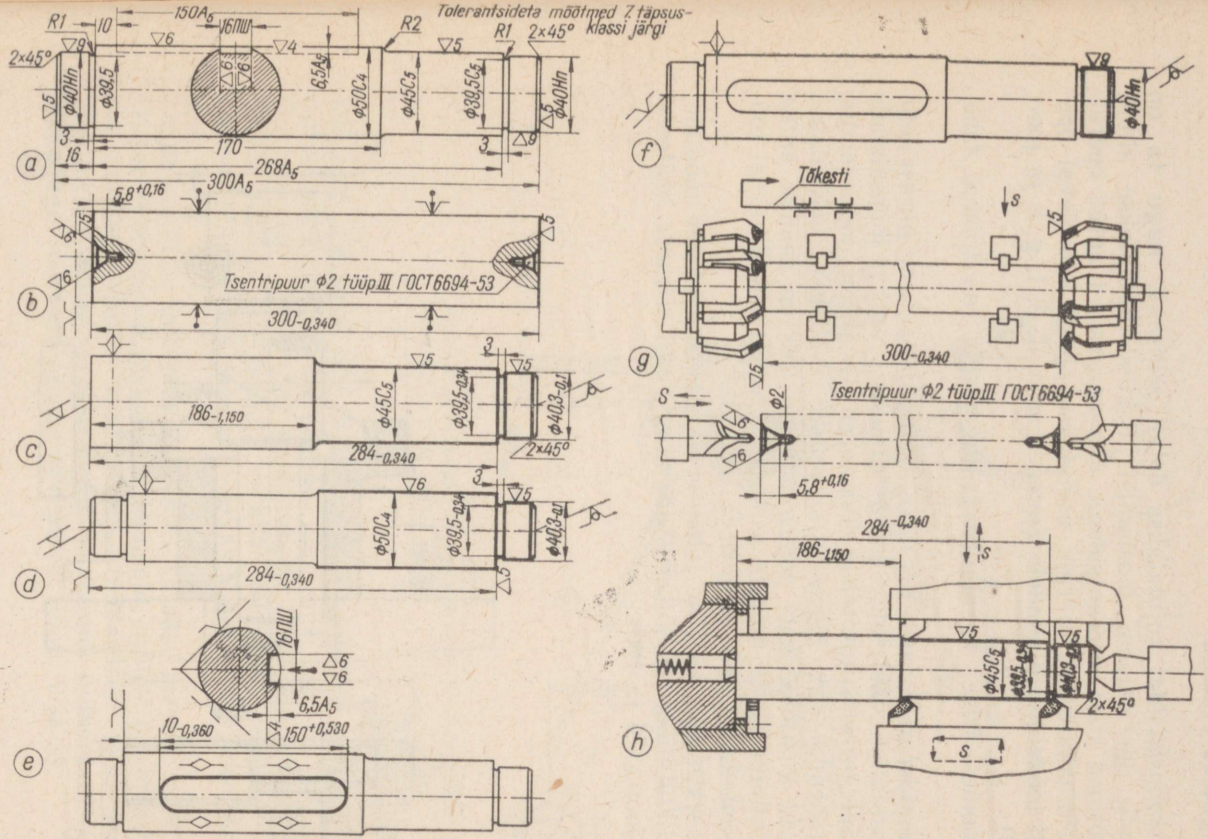
Suurseeria- ja masstootmise tehnoloogilise dokumentatsiooni kompleksi kuuluvad täiendavalt ühistele vormidele tehnoloogiliste protsesside kaardid ja tehnoloogiliste protsesside operatsioonikaardid:

1) valamine, vorm Тл1, Тл2, Тл3, Тл4, Тл5 (PTM 95-63);
2) kärnide valmistamine, vorm Тл6 (PTM 95-63);
3) materjali juurdelõikus ja toorikute lõikamine, vorm Тр2 (PTM 96—63);
4) sepistamine ja vormsepistamine, vorm Ткш1; Ткш1а; (PTM 97-63);
5) külmstantsimine, vorm Ткш2 ja Ткш2а (PTM 97-63);
6) plastmassist detailide valmistamise operatsioonikaardid, vorm Тп1 ja Тп1а (PTM 98-63);
7) mehaanilise töötlemise operatsioonikaardid, vorm Тм1, Тм1а, Тм2, Тм3, Тм3а, Тм4, Тм4а (PTM 99-63);
8) termiline töötlemine, vorm Тт1, Тт1а (PTM 100-63);
9) galvaanilised katted ja keemiline töötlemine, vorm Тг1, Тг1а (PTM 101-63);
10) värvimine ja pinnakatted, vorm Тлкl ja Тлкla (PTM 102-63);
11) koostamis-keevitamise ja gaasiga lõikamise operatsioonikaardid, vorm Тс1, Тс1а (PTM 103-63);
12) kontaktkeevitamise operatsioonikaardid, vorm Тс2, Тс2а (PTM 103-63);
13) koostamine, vorm Тс3, Тс3а (PTM 103-63).

Tehnoloogilise protsessi kaardid ja tehnoloogilise protsessi operatsioonikaardid erinevad marsruudikaartidest selle poolest, et nendes on ette kirjutatud vastavatel seadmetel töötamise režiim (metallilõikepinkide korral on antud *t*, *s* ja *n*).
Operatsioonikaartidel on operatsioon jaotatud üksikuteks siireteks. Kaart koostatakse iga operatsiooni kohta eraldi. Vajaduse korral joonestatakse tehnoloogilistele kaartidele ja operatsioonikaartidele vastav eskiis. Kui kaardil selleks eraldatud pinnast ei piisa, kasutakse eskiiside, skeemide ning häälestuste kaarte, vorm То3 ja То3а (PTM 94-63).

Abimaterjalina kasutatakse alljärgnevaid vorme:
1) lehtmaterjali pinnalaotuse kaardid, vorm Тр1, Тр1а (PTM 96-63);
2) galvaanilisele katmisele ja keemilisele töötlemisele kuuluvate detailide koondnimekiri, vorm Тг2 (PTM 101-63);
3) värvimisele ja pinnakatmisele kuuluvate detailide koondnimekiri, vorm Тлк2 (PTM 102-63);
4) koostamise komplekteerimise kaart Тс4 (PTM 103-63).

Tehnoloogilise protsessi marsruut-(koond-) kaarti, vorm То2 ehk То2а, kasutatakse antud juhul detaili valmistamise tehnoloogilise protsessi operatsioonide koondkaardina.



Joon. 1. Võlli ∅ 50 × 300 tööjoonis ning mehaanilise töötlemise operatsioonide ja siirete eskiisid: *a* — tööjoonis; operatsioonide eskiisid: *b* — freesida otsad ja trentreerida; *c* — treida ∅ 45 ja ∅ 40,3; *d* — treida ∅ 50 ja ∅ 40,3; *e* — freesida liistupesa 16 × 150; *f* — lihvida ∅ 40; siirete eskiisid: *g* — freesida ja tsentreerida; h — treida ∅ 45 ja ∅ 40,3

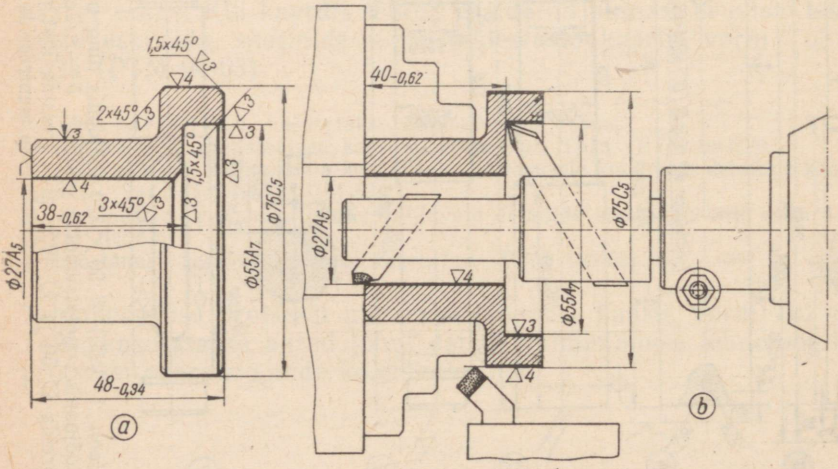
Tehnoloogilised eskiisid

Operatsioonieskiisidel kujutatakse detail sellisena, nagu ta on pärast selle operatsiooni teostamist. Eskiisil näidatakse ainult need mõõtmed koos tolerantsidega, mis on saadud antud operatsioonil. Pinnakareduse märgid asetatakse ainult käesoleval operatsioonil töödeldud pindadele (joon. 1, b, c, d, e, f, g, h ja joon. 2 ning 3).

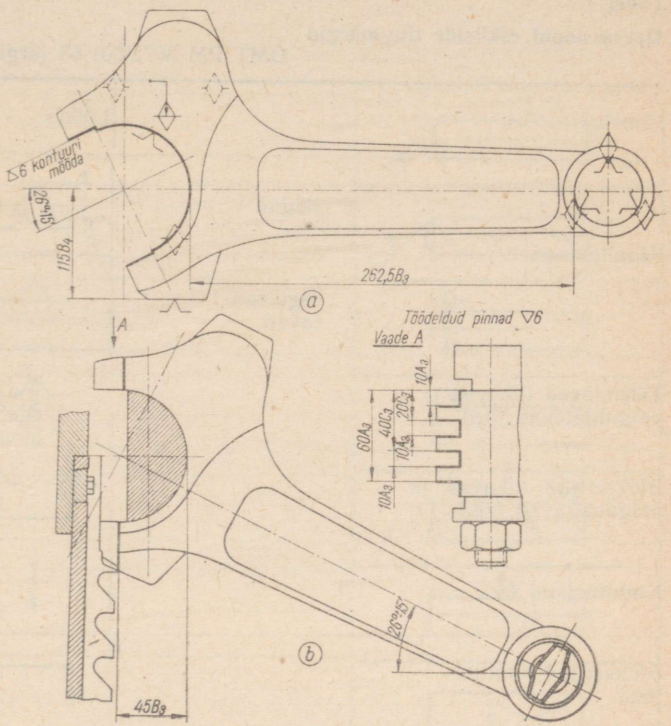
Operatsioonieskiisidel kasutatavad tingmärgid on toodud tabelis 1.

Siirdeeskiisidel näidatakse detail sellisena, nagu ta on pärast selle siirde teostamist. Näidatakse detaili kinnitus pingis ja lõikeriistade asetus. Seejuures kujutatakse lõiketerad tavaliselt lõppasendis, telginstrumendid aga algasendis. Siirete eskiisidel näidatakse ainult need mõõtmed koos tolerantsidega, mis on saadud antud siirdel. Pinnakareduse märgid asetatakse ainult antud siirdel töödeldud pindadele (joon. 1, g, h, ja joon. 3).

Seadistuseeskiisidel antakse täiendavalt siirete eskiiside mõõtmetele vajalikud mõõtmed lõikeriistade ning pingi sõlmede häälestamiseks (joon. 174 ja 180).



Joon. 2. *a* — nukksiduri operatsiooni eskiis töötlemisel revolverpingis; *b* — sama operatsiooni ühe siirde eskiis



Joon. 3. *a* — kepsu freesimise operatsiooni eskiis; *b* — kepsu kammlõikamise siirde eskiis

Kõikidel eskiisidel tähistatakse jämeda joonega antud operatsioonil või siirdel töödeldud pinnad.

Operatsiooni-, siirde- ja seadistuseeskiisidel, sõltuvalt töötlemise lähete valikust, on sageli vajalik asendada joonise mõõtmed uutega ning nende tolerantsid vastavalt ümber arvutada (joon. 1, c, d, h).

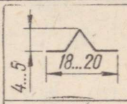
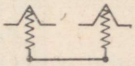
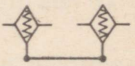
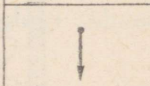
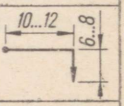
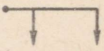
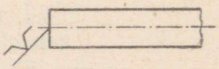
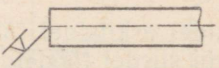
Tehnoloogiliste mõõtmete tolerants antakse metalli sisse.

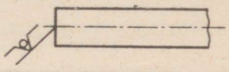
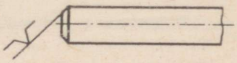
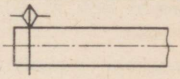
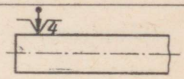
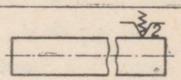
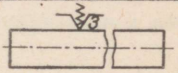
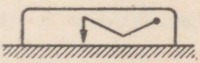
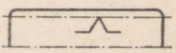
Otstarbekohane on nendele mõõtmetele, millele on tehases kaliibrid, märkida juurde tolerantside standardsed tähised (tähed); mõõtmetele, mille kindlakstegemine toimub universaalsete mõõteriistadega, märkida juurde piirhälbed (joon. 1 ja 2).

Tabel 1

Operatsiooni eskiiside tingmärgid

OMT PM 3072-001-63 järgi

Nimetus		Lõikes	Vaates
Kinnitustoed	jäigad		
	reguleeritavad		
Täiendavad liikuvad ja paigaldatavad toed			
Blokeeritud liikuvad ja paigaldatavad toed			
Kinnitusjõud			
Blokeeritud kinnitusjõud			
Siledad ja karestatud tsentrid			
Ujuv tsenter			

Pöörlev tsenter	
Sisemine tsenter	
Kaasavedaja või kaasaveopadrun	
Kahe-, kolme-, neljapakilised ja tsangpadrunid *	
Liikuv lünett **	
Liikumatu lünett **	
Magnettöölaud	
Märkimine	

Märkus:
* numbriga on tähistatud seotud vabadusastmete arv;
** numbriga on tähistatud tugede arv.

Kirjandus

1. РТМ 94-63 ... РТМ 103-63. Формы технологической документации; Издательство стандартов, Москва, 1964.
2. ОМТ-РМ 3072-001-63. Условные обозначения технологических баз и зажимных усилий. ЦИНТИ по автоматизации и машиностроению, Москва, 1963.
3. Соколовский, А. П. Курс технологии машиностроения, ч. 1. 1947.

KIRJANDUS

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1959.
2. Бородачев Н. А. Основные вопросы теории тончости производства. М., Изд-во АН СССР, 1950.
3. Владзиевский А. П. Автоматические линии, ч. 1, 2. М., Машгиз, 1960.
4. Демьянюк Ф. С. Технологические основы поточного и автоматизированного производства. М., Машгиз, 1965.
5. Дьяченко П. Е. и Якобсон М. О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. М., Машгиз, 1951.
6. Егоров М. Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. М., Машгиз, 1959.
7. Кован М. В. Расчет припусков на обработку в машиностроении. М., Машгиз, 1953.
8. Кован М. В. Основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1959.
9. Корсаков В. С. Точность механической обработки. М., Машгиз, 1961.
10. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении. М., Изд-во «Машиностроение», 1965.
11. Корсаков В. С. и Новиков М. П. Справочник по механизации и автоматизации сборочных работ. М., Машгиз, 1961.
12. Митрофанов С. П. Научные основы групповой технологии. Л., Лениздат, 1960.
13. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М., Машгиз, 1964.
14. Сборник «Основные вопросы точности, взаимозаменяемости и технических измерений в машиностроении». М., Машгиз, 1957.
15. Справочник технолога-машиностроителя, 2-е издание. М., Машгиз, 1963.
16. Справочник машиностроителя, 3-е издание. М., Машгиз, 1963.
17. Соколовский А. П. Курс технологии машиностроения, ч. 1. М., Машгиз, 1947.
18. Соколовский А. П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. М., Машгиз, 1952.
19. Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1955.
20. Чарнко Д. В. Основы выбора технологического процесса механической обработки. М., Машгиз, 1963.

SISUKORD

Saateks 3
Teise venekeelse trüki eessõna 4
Sissejuhatus 5

I peatükk. **Toote ja tehnoloogilise protsessi mõisteid masinaehituses** . . 11

1. Toode ja selle elemendid 11
2. Tootmis- ja tehnoloogiline protsess masinaehituses 15
3. Tehniliselt põhjendatud ajanorm 17
4. Masinaehitustootmise tüübid ja tootmisviisid 21

II peatükk. **Täpsus masinaehituses** 26

1. Tööstuslikud hälbed ja etteantud mõõtmete saamise viisid . . . 26
2. Toorikute paigaldamine töötlemiseks tööpingis 32
3. Töötlemistäpsust mõjutavad tegurid 48
4. Mehaanilise töötlemise summaarse hälbe määramine 125
5. Täpsuse uurimise statistilised meetodid 131
6. Mehaanilise töötlemise täpsuse tõstmise võimalused 149
7. Detailide ja toorikute pinna kvaliteet 158

III peatükk. **Masinaehituses rakendatavate tehnoloogiliste tootmismeetodite iseloomustus** 183

1. Toorikute tootmise meetodid 183
2. Toorikute töötlemise meetodid 205
3. Pindade katmise meetodid 225
4. Koostamise tehnoloogilised meetodid 232
5. Pingivälised operatsioonid 256

IV peatükk. **Tootmistehnoloogiast tulenevad nõuded detailide ja sõlmede konstruktsioonilisele kujundamisele** 268

1. Masina koostamise tehnoloogiast tulenevad nõuded selle elementide konstruktsioonilisele kujundusele 268
2. Detailide konstruktsioonilisele kujundusele esitatavad tehnoloogilised nõuded 275

V peatükk. **Tehnoloogiliste protsesside projekteerimine masinaehituses** 287

1. Projekteerimise tehnilis-majanduslikud põhialused 287
2. Masinadetailide töötlemise tehnoloogiliste protsesside projekteerimine 287
3. Koostamise tehnoloogiliste protsesside projekteerimine 352

VI peatükk. **Tüüpdetailide ja masinasõlmede tootmise tehnoloogia** . . 370

1. Võllid 370
2. Korpused 391
3. Puksid 424
4. Kangid 429
5. Masinate tüüpsõlmede koostamine 436

VII peatükk. **Masinate tootmise tehnoloogia arengu põhisuunad** . . . 454

Lisa 1. E. Liiver. Optimaalsete lõikerežiimide määramine majanduslike kriteeriumide põhjal 461

Lisa 2. N. Štšeglov. Tehnoloogiline dokumentatsioon 491

Kirjandus 499

Виктор Михайлович Кован, Владимир Сергеевич Корсаков, Александра Григорьевна Косилова, Михаил Алексеевич Калинин, Николай Михайлович Капустин, Мстислав Дмитриевич Солодов. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ. На эстонском языке. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja T. Koger. Kunstiline toimetaja R. Tungla. Tehniline toimetaja S. Kohu. Korrektorid E. Bitter ja S. Türn. Laduda antud 17. V 1968. Trükkida antud 27. I 1969. Kohila Paberivabriku trükipaber nr. 2, 60×90/16. Trükipoognaid 31,5. Arvestuspoognaid 31,81. Trükiarv 3000. Tellimise nr. 3214. Hans Heidemanni nim. Trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. II Hind rbl. 1.50.

A-29697

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00403215 9